

本书为胡斌的第**139**本著作



金牌作者  
江苏大学  
胡斌

# 起点学 电子技术 必读

◎ 胡斌 主编

- ★ 零起点实用电子知识顶级大全
- ★ 传统阅读与网络技术完美结合
- ★ 业界著名作者的全新精细力作
- ★ 零起点读者必看的经典级读本

提供学习测试和免费视频辅导  
<http://www.eelt.cn/>

作者团队提供读者伴随服务

古木电子读者接待QQ: 1155390

淘宝: 古木电子@读者伴随服务

新浪微博: 古木电子胡斌

公众微信: eeltcnhb (电子测试与学习)



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS





# 零起点学电子技术必读

胡 斌 主编



机械工业出版社



本书从零起步读者所需要的基础知识起步，随着学习进行水平得到进步和提高，从而轻松而快速地系统掌握电子技术实用知识，是目前国内内容较为系统和全面的零起点入门图书。书中讲解了千余条基础知识点，而每一种元器件的讲解均包括：电路图形符号信息解说、外形识别、型号识别方法、引脚分布规律及识别方法、引脚极性识别方法、主要特性讲解及主要特性曲线、典型应用电路详解、同功能不同电路讲解、质量检测方法、更换和选配方法、调整和修配方法等。而书中的电路分析也都层次分明，条理清晰，巨细无遗。

本书适合于立志成为电子工程师、产业从业人员的零起步读者。

## 图书在版编目（CIP）数据

零起点学电子技术必读/胡斌主编. —北京：机械工业出版社，2014.2  
ISBN 978-7-111-45398-7

I. ①零… II. ①胡… III. ①电子技术 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 006530 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）  
策划编辑：张俊红 责任编辑：赵玲丽 版式设计：霍永明  
责任校对：刘雅娜 封面设计：马精明 责任印制：李 洋  
北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2014 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·44 印张·1324 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-45398-7

定价：99.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版



# 前言

本书是一本零起点大全型实用电子知识图书，零起步读者必看。

笔者凭借多年的教学、科研和百余本著作的以读者为本的写作经验，精心组织编写了《零起点学电子技术必读》一书，希望助您在成长为电子工程师、电子产业从业人员的征途中快乐而轻松地学习，天天进步。

## 本书读者群体

本书适合于立志成为电子工程师、电子行业从业者、电子爱好者的零起点入门级读者，因为本书从基本的电子技术知识点和元器件基础知识起步。

本书适合于电子行业的从业者作为提高知识水平阅读，因为书中内容的跨度大，全书构成了一个较为全面和完整的元器件和电路分析知识体系。

本书适合于深入掌握元器件和电路识图知识的读者阅读，特别是大学在校生和刚毕业学生，因为全书内容实用性和针对性强，系统而全面，理论紧密联系实际，细节“丰富多彩”，架起了大学教材与工作实际之间的桥梁，是大学教材的有益补充。

## 本书超级亮点

“电子技术学习内容”这一板块值得您首先阅读，它回答了学习电子技术所需要的具体学习内容，使您在阅读本书前做到有的放矢。

“‘我的500’行动强化版”板块给您学习电子技术指出了科学方法，是您成才的一个很可能的法宝。

本书的近千条“电子技术基础知识点”能为您学习电子技术打下扎实的基础知识，为您后续学习扫清障碍，值得您用心阅读。

本书主干知识以一种方便读者查询的方式进行写作，方便读者学习的同时，也使日后查询这些知识点相当快捷和方便。这种写作方式笔者在国内首次尝试，希望大获成功！

## 本书阅读特色

人性化写作方式：所谓人性化写作是以初学者为本，减轻读者阅读负担，提高阅读效率的崭新写作方式。

在充分研究和考虑电子技术类图书的识图要素后，运用写作技巧及错版技巧，消除视觉疲劳，实现阅读高效率。

个性化写作风格迎得好评如潮：从以往已出版图书回馈的读者意见看，本人写作风格迎合大多数读者，好评如潮：太棒了；慕名而来；买了您好多书，现在还想买；一下子就被吸引了；我的第一感觉是感激；这在课堂是学不到的；给了我这个新手的巨大帮助；与您的书是“相见恨晚”；是您的伟大思想和伟大作品成就了我；只三言两语，便如拨云见日，轻松地捅破了“窗户纸”，而且还是在“轻松”的感觉中完成的。以前是事倍功半，而现在是事半功倍，等等。

## 本人情况简介

作为电子技术类写作30年的我，一直追求以读者为本的理念，加之勤于思考、敢于创新、努力写作，取得了读者的认可。

其一，笔风令读者喜好，用简单的语句讲述复杂的问题，这是读者最为喜欢的优势。

其二，百本著作的理想已经实现，多套畅销书的梦想也已成功实现，引领业界的方向。

其三，依据“开卷全国图书零售市场观测系统”近几年的数据统计，本人在电子类图书销售总册数和总洋码两项指标中个人排名第一，且遥遥领先。

## 本书主干知识

本书将帮助零起点读者从基础的知识起步，随着学习的进行，水平得到进步和提高，从而轻松而快速地系统掌握千余知识点、数十大类元器件知识、数百种元器件应用电路，电路识图水平逐步提高。

千余条知识点以“微播”写作形式讲述声、光、电、磁等诸多方面的入门级知识点，为全面而系统地掌握电子技术打下厚实的基础。

每一种元器件的讲解均包括这样的内容：电路符号信息解说、外形识别、型号识别方法、引脚分布规律及识别方法、引脚极性识别方法、主要特性讲解及主要特性曲线、典型应用电路详解、同功能不同电路讲解、质量检测方法、更换和选配方法、调整和修配方法等。

每一种电路识图的讲解包括了这样的内容：直流电路分析、交流电路分析、元器件作用分析、信号流程分析、电路分析提示等。

## 网络测试和读者交流平台

为了帮助读者学习和方便相互交流，作者团队友情提供“Hello，电子工程师测试与学习平台”，网址为 <http://eelt.cn/>。



■我们的口号：测试强化学习，测试专注细节，测试了解自己，测试增强兴趣，测试激发热情。作者团队将会一直致力于打造国内一流的读者伴随服务！

平台力求在系统、层次、结构、逻辑、细节、重点、亮点、表现力上打造成一流水平，着力提升实用性和创新性，理论紧密联系实际。巨细无遗和精细化的测试练习，将使您学习效果倍增，使您在学习中掌握细节的能力得到加强。

■平台免费为本书读者提供一小时辅导视频材料。

■希望广大朋友在这一网络平台上轻松学习，快乐成长，相互交流，共同进步，走向成功！

作者团队联系方式如下：

QQ（古木电子读者接待）：1155390

淘宝：古木电子@读者伴随服务

微信：电子测试与学习平台

公众微信号二维码：



QQ群（电子学习与测试之综合）号：306376831

新浪微博：古木电子胡斌

公众微信号：eeltcnhb

测试平台二维码：



参与本书写作的人有胡维保、陈政社、胡松、彭清平、陆明、王晓红、李萌、王伟、陈月香、陈晓社、金玉华、蔡月红、许少杰、刘超、邱水琴、曹克清、黎声庚、商桑、姜江、葛子斌、张炜、江波。

江苏大学  
胡斌  
2014 年春



# 目 录

V

## 第1章 电子技术学习内容和“我的500”

### 行动强化版 ..... 1

- ★1.1 实战学习熟悉的日常电路 ..... 1
  - 1.1.1 音乐门铃电路的感性认识 ..... 1
  - 1.1.2 初步了解电子电路的分析全过程和思路方法 ..... 2
  - 1.1.3 电路是如何分析的 ..... 3
  - 1.1.4 元器件特性对电路分析的作用 ..... 4
  - 1.1.5 负载与负载识别方法 ..... 6
- ★1.2 初学者感性认识电子技术 ..... 7
  - 1.2.1 从二分频音箱看电子技术 ..... 7
  - 1.2.2 初学者尝试分析二分频扬声器电路工作原理 ..... 8
  - 1.2.3 二分频扬声器电路故障分析 ..... 9
  - 1.2.4 故障修理教你第一招 ..... 10
- ★1.3 电子技术入门学习内容 ..... 12
  - 1.3.1 电子技术入门学习内容 ..... 12
  - 1.3.2 电子元器件知识学习内容 ..... 14
  - 1.3.3 识别电子元器件 ..... 16
  - 1.3.4 掌握元器件主要特性 ..... 18
  - 1.3.5 元器件是故障检修关键要素 ..... 19
- ★1.4 详细解读常用元器件电路符号中识图信息 ..... 20
  - 1.4.1 元器件电路符号识图信息作用 ..... 20
  - 1.4.2 电阻器电路符号识图信息 ..... 21
  - 1.4.3 可变电阻器电路符号识图信息 ..... 21
  - 1.4.4 电位器电路符号识图信息 ..... 22
  - 1.4.5 电容器电路符号识图信息 ..... 22
  - 1.4.6 可变电容器和微调电容器电路符号识图信息 ..... 23
  - 1.4.7 电感器电路符号识图信息 ..... 23
  - 1.4.8 变压器电路符号识图信息 ..... 24
  - 1.4.9 二极管电路符号识图信息 ..... 25
  - 1.4.10 晶体管电路符号识图信息 ..... 25

## 第2章 快速博览数百种电子元器件 ..... 27

- ★2.1 快速博览电阻类元器件 ..... 27
  - 2.1.1 快速博览普通电阻器 ..... 27
  - 2.1.2 快速博览敏感类电阻器 ..... 31

- 2.1.3 快速博览可变电阻器和电位器 ..... 32
- ★2.2 快速博览电容器、电感器和变压器 ..... 36
  - 2.2.1 快速博览电容器 ..... 36
  - 2.2.2 快速博览电感类元器件 ..... 42
  - 2.2.3 快速博览变压器 ..... 44
- ★2.3 快速博览二极管和晶体管 ..... 47
  - 2.3.1 快速博览二极管 ..... 47
  - 2.3.2 快速博览晶体管 ..... 55
- ★2.4 快速博览集成电路、晶闸管、场效应晶体管和电子管 ..... 58
  - 2.4.1 快速博览集成电路 ..... 58
  - 2.4.2 快速博览晶闸管 ..... 62
  - 2.4.3 快速博览场效应晶体管 ..... 63
  - 2.4.4 快速博览电子管 ..... 65
- ★2.5 快速博览接插件和开关件 ..... 67
  - 2.5.1 快速博览接插件 ..... 67
  - 2.5.2 快速博览电脑接口和接插件 ..... 70
  - 2.5.3 快速博览开关件 ..... 74
- ★2.6 快速博览石英晶体振荡器、陶瓷滤波器、声表面波滤波器和继电器 ..... 78
  - 2.6.1 快速博览石英晶体振荡器、陶瓷滤波器和声表面波滤波器 ..... 78
  - 2.6.2 快速博览继电器 ..... 79
- ★2.7 快速博览数字式显示器件、显像管和半导体存储器 ..... 81
  - 2.7.1 快速博览数字式显示器件和显像管 ..... 81
  - 2.7.2 快速博览半导体存储器 ..... 88
- ★2.8 快速博览其他几十种元器件和贴片元器件 ..... 90
  - 2.8.1 快速博览其他几十种元器件 ..... 90
  - 2.8.2 快速博览贴片元器件 ..... 99

## 第3章 电子电路分析方法和学习

### 方法 ..... 105

- ★3.1 化整为零和集零为整电路分析方法 ..... 105
  - 3.1.1 多级放大器的电路分解方法 ..... 106
  - 3.1.2 直流和交流电路分解方法 ..... 106
  - 3.1.3 直流与交流复合信号的分解方法 ..... 106
  - 3.1.4 信号的幅度分解方法 ..... 107

|                                   |     |                                       |     |
|-----------------------------------|-----|---------------------------------------|-----|
| 3.1.5 交流信号的频率分解方法 .....           | 107 | 4.4.1 常见信号波形知识点 .....                 | 159 |
| 3.1.6 电路分析中的集零为整方法 .....          | 110 | 4.4.2 视频信号波形知识点 .....                 | 160 |
| ★3.2 电子电路图识图方法 .....              | 111 | 4.4.3 收音电路信号波形知识点 .....               | 163 |
| 3.2.1 框图识图方法 .....                | 111 | ★4.5 电子电路信号知识点“集中营” .....             | 166 |
| 3.2.2 单元电路图识图方法 .....             | 114 | 4.5.1 模拟信号和数字信号知识点 .....              | 166 |
| 3.2.3 等效电路图识图方法 .....             | 116 | 4.5.2 电压信号、电流信号和功率信号<br>知识点 .....     | 167 |
| 3.2.4 集成电路应用电路识图方法 .....          | 117 | 4.5.3 其他信号知识点 .....                   | 167 |
| 3.2.5 整机电路图识图方法 .....             | 119 | ★4.6 视觉特性和扫描知识点“集中营” .....            | 169 |
| 3.2.6 修理识图方法 .....                | 121 | 4.6.1 视觉特性知识点 .....                   | 169 |
| 3.2.7 印制电路图识图方法 .....             | 122 | 4.6.2 扫描基础知识点 .....                   | 171 |
| ★3.3 初步认识信号回路 .....               | 124 | 4.6.3 水平和扫描基础知识点 .....                | 172 |
| 3.3.1 信号电流回路分析的目的 .....           | 124 | ★4.7 听觉特性和音响定律、效应知识点<br>“集中营” .....   | 174 |
| 3.3.2 电路中产生电流的条件 .....            | 126 | 4.7.1 听觉特性知识点 .....                   | 174 |
| 3.3.3 信号传输线路 .....                | 127 | 4.7.2 立体声及音响系统知识点 .....               | 175 |
| ★3.4 七种学习方法 .....                 | 127 | 4.7.3 听觉基本特性知识点 .....                 | 176 |
| 3.4.1 自主学习法 .....                 | 128 | 4.7.4 音响技术重要定律和效应<br>知识点 .....        | 177 |
| 3.4.2 听课学习方法 .....                | 129 | ★4.8 音箱和声学知识点“集中营” .....              | 179 |
| 3.4.3 实践学习法 .....                 | 130 | 4.8.1 音箱器材知识点 .....                   | 179 |
| 3.4.4 爱好者讨论学习法 .....              | 131 | 4.8.2 线材知识点 .....                     | 184 |
| 3.4.5 制订计划学习法 .....               | 133 | 4.8.3 听音室声学条件和改良方案<br>知识点 .....       | 185 |
| 3.4.6 研究型学习法 .....                | 135 | 4.8.4 音箱摆位要素知识点 .....                 | 188 |
| 3.4.7 网络学习法 .....                 | 136 | ★4.9 电源及负载知识点“集中营” .....              | 191 |
| ★3.5 电子技术学习中的困惑和误区 .....          | 137 | 4.9.1 电源知识点 .....                     | 191 |
| 3.5.1 零点起步困惑的辅导 .....             | 137 | 4.9.2 负载知识点 .....                     | 195 |
| 3.5.2 零点起步的教材选择 .....             | 139 | ★4.10 放大器指标知识点“集中营” .....             | 196 |
| 3.5.3 系统学习效果显著 .....              | 141 | 4.10.1 放大器种类知识点 .....                 | 196 |
| 3.5.4 学习初期困惑的解决方案 .....           | 142 | 4.10.2 放大器放大倍数知识点 .....               | 197 |
| 3.5.5 动手实践学习困惑的解决方案 .....         | 144 | 4.10.3 放大器频率特性知识点 .....               | 198 |
| 3.5.6 兴趣的产生、兴趣链反应和学习的<br>竞争 ..... | 146 | 4.10.4 放大器失真度知识点 .....                | 199 |
| 3.5.7 大学生学习指针 .....               | 147 | 4.10.5 放大器输出功率知识点 .....               | 202 |
|                                   |     | 4.10.6 放大器其他特性知识点 .....               | 203 |
|                                   |     | 4.10.7 放大器常见 11 种非线性失真<br>波形知识点 ..... | 204 |
|                                   |     | 4.10.8 放大器常见 9 种噪声波形<br>知识点 .....     | 206 |
|                                   |     | ★4.11 电磁学基础知识点“集中营” .....             | 207 |
|                                   |     | 4.11.1 磁场与磁力线知识点 .....                | 208 |
|                                   |     | 4.11.2 磁通、磁感应强度、磁导率和<br>磁场强度知识点 ..... | 208 |
|                                   |     | 4.11.3 磁化、磁性材料和磁路知识点 .....            | 209 |
|                                   |     | 4.11.4 电磁感应知识点 .....                  | 210 |
|                                   |     | 4.11.5 自感、互感和同名端知识点 .....             | 210 |
|                                   |     | 4.11.6 屏蔽知识点 .....                    | 212 |

## 第 4 章 新概念电子电路入门基础

### 知识点“集中营” .....

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| ★4.1 直流和交流电流知识点“集中营” .....         | 149 |
| 4.1.1 直流电流知识点 .....                | 149 |
| 4.1.2 交流电流知识点 .....                | 151 |
| ★4.2 电位、电压和电平知识点“集中营” .....        | 153 |
| 4.2.1 电位和电压知识点 .....               | 153 |
| 4.2.2 电平和分贝知识点 .....               | 154 |
| ★4.3 电阻、半导体和欧姆定律知识点<br>“集中营” ..... | 155 |
| 4.3.1 电阻知识点 .....                  | 155 |
| 4.3.2 半导体知识点 .....                 | 156 |
| 4.3.3 欧姆定律知识点 .....                | 157 |
| ★4.4 信号波形知识点“集中营” .....            | 159 |

## 第5章 百种元器件种类和电路符号

### 快速查询平台 ..... 215

- ★5.1 数十种元器件种类查询平台 ..... 215
  - 5.1.1 电阻类元件种类 ..... 215
  - 5.1.2 贴片电阻器种类 ..... 215
  - 5.1.3 热敏电阻器种类 ..... 216
  - 5.1.4 光敏电阻器种类 ..... 217
  - 5.1.5 湿敏电阻器种类 ..... 217
  - 5.1.6 磁敏电阻器种类 ..... 217
  - 5.1.7 气敏电阻器种类 ..... 217
  - 5.1.8 排阻种类 ..... 218
  - 5.1.9 可变电阻器和电位器种类 ..... 218
  - 5.1.10 熔断电阻器种类 ..... 218
  - 5.1.11 电容器种类 ..... 219
  - 5.1.12 电解电容器种类 ..... 220
  - 5.1.13 微调电容器和可变电容器种类 ..... 221
  - 5.1.14 电感器和变压器种类 ..... 221
  - 5.1.15 二极管种类 ..... 222
  - 5.1.16 稳压二极管、变容二极管和发光二极管种类 ..... 226
  - 5.1.17 晶体管种类 ..... 227
  - 5.1.18 集成电路种类 ..... 228
  - 5.1.19 晶闸管种类 ..... 230
  - 5.1.20 场效应晶体管种类 ..... 230
  - 5.1.21 收音电路用磁棒种类 ..... 231
  - 5.1.22 继电器种类 ..... 231
  - 5.1.23 磁头种类 ..... 232
  - 5.1.24 直流有刷电动机、石英晶振、扬声器和传声器种类 ..... 233
- ★5.2 数百种元器件电路符号大全速查平台 ..... 234
  - 5.2.1 电阻器和熔断电阻器电路符号 ..... 234
  - 5.2.2 可变电阻器和电位器电路符号 ..... 235
  - 5.2.3 敏感电阻器和排阻电路符号 ..... 236
  - 5.2.4 电容器、可变电容器和微调电容器电路符号 ..... 237
  - 5.2.5 电感器电路符号 ..... 238
  - 5.2.6 变压器电路符号 ..... 238
  - 5.2.7 二极管电路符号 ..... 239
  - 5.2.8 晶体管电路符号 ..... 240
  - 5.2.9 集成电路和场效应晶体管电路符号 ..... 241
  - 5.2.10 电子管电路符号 ..... 242
  - 5.2.11 晶闸管电路符号 ..... 243
  - 5.2.12 石英晶体振荡器、滤波器、继电器和光耦合器电路符号 ..... 244

- 5.2.13 直流有刷电动机、磁头和驻极体电容传声器电路符号 ..... 246
- 5.2.14 扬声器、熔丝、硅电池和放大器电路符号 ..... 246
- 5.2.15 数字器件电路符号 ..... 247

## 第6章 百种元器件型号命名方法、结构和内电路快速查询平台 ..... 254

- ★6.1 元器件型号命名方法查询平台 ..... 254
  - 6.1.1 国产电阻器型号命名方法 ..... 254
  - 6.1.2 贴片电阻器型号命名方法 ..... 255
  - 6.1.3 热敏电阻器型号命名方法 ..... 255
  - 6.1.4 压敏电阻器型号命名方法 ..... 256
  - 6.1.5 光敏电阻器型号命名方法 ..... 256
  - 6.1.6 湿敏电阻器型号命名方法 ..... 256
  - 6.1.7 气敏电阻器型号命名方法 ..... 257
  - 6.1.8 磁敏电阻器型号命名方法 ..... 257
  - 6.1.9 力敏电阻器型号命名方法 ..... 257
  - 6.1.10 电位器型号命名方法 ..... 258
  - 6.1.11 电容器命名方法 ..... 258
  - 6.1.12 微调电容器和可变电容器型号命名方法 ..... 259
  - 6.1.13 磁棒型号命名方法 ..... 259
  - 6.1.14 变压器型号命名方法 ..... 260
  - 6.1.15 调幅收音机中频变压器型号命名方法 ..... 261
  - 6.1.16 电视机中频变压器命名方法 ..... 261
  - 6.1.17 二极管型号命名方法 ..... 262
  - 6.1.18 国产晶体管型号命名方法 ..... 263
  - 6.1.19 日本产半导体器件命名方法 ..... 263
  - 6.1.20 美国半导体器件型号命名方法 ..... 264
  - 6.1.21 国际电子联合会半导体器件命名方法 ..... 264
  - 6.1.22 集成电路型号命名方法 ..... 264
  - 6.1.23 国外集成电路生产厂商的字头符号 ..... 266
  - 6.1.24 日本三洋 (SANYO) 公司集成电路型号命名方法 ..... 266
  - 6.1.25 日本日立 (HITACHI) 公司集成电路型号命名方法 ..... 266
  - 6.1.26 日本东芝 (TOSHIBA) 公司集成电路型号命名方法 ..... 267
  - 6.1.27 日本松下 (PANASONIC) 电器公司集成电路型号命名方法 ..... 267
  - 6.1.28 日本三菱 (MITSUBISHI) 电机公司集成电路型号命名方法 ..... 267



|        |                                                                           |     |        |                                 |     |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|-----|--------|---------------------------------|-----|
| 6.1.29 | 日本电气公司 (NEC) 集成电路<br>型号命名方法 .....                                         | 268 | 7.1.1  | 电阻器主要参数 .....                   | 286 |
| 6.1.30 | 晶闸管型号命名方法 .....                                                           | 268 | 7.1.2  | 熔断电阻器主要参数 .....                 | 288 |
| 6.1.31 | 石英晶体振荡器型号命名方法 .....                                                       | 269 | 7.1.3  | PTC 热敏电阻器主要参数 .....             | 288 |
| ★6.2   | 元器件结构图查询平台 .....                                                          | 269 | 7.1.4  | 压敏电阻器主要参数 .....                 | 288 |
| 6.2.1  | 贴片电阻器、线绕电阻器和薄膜<br>电阻器结构 .....                                             | 269 | 7.1.5  | 光敏电阻器主要参数 .....                 | 289 |
| 6.2.2  | 可变电阻器和电位器结构 .....                                                         | 270 | 7.1.6  | 湿敏电阻器主要参数 .....                 | 290 |
| 6.2.3  | 光敏电阻器、湿敏电阻器、气敏<br>电阻器和压敏电阻器结构 .....                                       | 270 | 7.1.7  | 气敏电阻器主要参数 .....                 | 290 |
| 6.2.4  | 电容器基本结构、纸介电容器和<br>贴片多层陶瓷电容器结构 .....                                       | 272 | 7.1.8  | 磁敏电阻器主要参数 .....                 | 290 |
| 6.2.5  | 有极性和无极性电解电容器、拉线<br>微调电容器结构 .....                                          | 273 | 7.1.9  | 电位器主要参数 .....                   | 291 |
| 6.2.6  | 电感器和贴片电感器结构 .....                                                         | 275 | 7.1.10 | 电容器主要参数 .....                   | 291 |
| 6.2.7  | 共模电感器和差模电感器结构 .....                                                       | 275 | 7.1.11 | 电感器主要参数 .....                   | 293 |
| 6.2.8  | 行线性调节器、变压器、振荡线圈<br>和中频变压器结构 .....                                         | 275 | 7.1.12 | 变压器主要参数 .....                   | 293 |
| 6.2.9  | 肖特基二极管和光敏二极管<br>结构 .....                                                  | 277 | 7.1.13 | 二极管主要参数 .....                   | 295 |
| 6.2.10 | 晶体管结构 .....                                                               | 277 | 7.1.14 | 稳压二极管主要参数 .....                 | 296 |
| 6.2.11 | 场效应晶体管结构 .....                                                            | 278 | 7.1.15 | 变容二极管主要参数 .....                 | 297 |
| 6.2.12 | 晶闸管结构 .....                                                               | 279 | 7.1.16 | 发光二极管主要参数 .....                 | 297 |
| 6.2.13 | 光耦合器、真空三极管、电动式<br>扬声器和晶体振荡器内部结构 .....                                     | 279 | 7.1.17 | 晶体管主要参数 .....                   | 297 |
| 6.2.14 | 电磁继电器、磁头和直流有刷<br>电机结构 .....                                               | 280 | 7.1.18 | 集成电路主要参数 .....                  | 298 |
| ★6.3   | 数十种元器件等效电路和内电路查询<br>平台 .....                                              | 281 | 7.1.19 | 低压差稳压器集成电路主要<br>参数 .....        | 299 |
| 6.3.1  | 电阻器和压敏电阻器结构 .....                                                         | 281 | 7.1.20 | 晶闸管主要参数 .....                   | 300 |
| 6.3.2  | 贴片电容器、有引脚电容器、有极<br>性电解电容器、大容量电解电容器<br>和电感器等效电路 .....                      | 282 | 7.1.21 | 场效应晶体管主要参数 .....                | 300 |
| 6.3.3  | 变容二极管、普通晶闸管、双向触<br>发二极管、逆导晶闸管、双向晶闸管、<br>四极晶闸管、BTG 晶闸管和光控<br>晶闸管等效电路 ..... | 283 | 7.1.22 | 电子管主要参数 .....                   | 301 |
| 6.3.4  | 石英晶体振荡器和陶瓷滤波器等效<br>电路 .....                                               | 284 | 7.1.23 | 小型直流电磁继电器主要参数 .....             | 301 |
| 6.3.5  | 普通复合管 (达林顿管) 内电路、<br>大功率复合管和带阻尼管的行管<br>等效电路 .....                         | 285 | 7.1.24 | 磁头主要参数 .....                    | 302 |
|        |                                                                           |     | 7.1.25 | 直流有刷电动机主要参数 .....               | 302 |
|        |                                                                           |     | 7.1.26 | 石英晶体振荡器主要参数 .....               | 303 |
|        |                                                                           |     | 7.1.27 | 陶瓷滤波器主要参数 .....                 | 303 |
|        |                                                                           |     | 7.1.28 | 扬声器主要参数 .....                   | 303 |
|        |                                                                           |     | ★7.2   | 数十种元器件主要特性 .....                | 304 |
|        |                                                                           |     | 7.2.1  | 普通电阻器主要特性 .....                 | 304 |
|        |                                                                           |     | 7.2.2  | 压敏电阻器主要特性 .....                 | 305 |
|        |                                                                           |     | 7.2.3  | 电容器主要特性 .....                   | 305 |
|        |                                                                           |     | 7.2.4  | 电解电容器主要特性 .....                 | 308 |
|        |                                                                           |     | 7.2.5  | 电感器主要特性 .....                   | 309 |
|        |                                                                           |     | 7.2.6  | 变压器主要特性 .....                   | 310 |
|        |                                                                           |     | 7.2.7  | 二极管主要特性 .....                   | 312 |
|        |                                                                           |     | 7.2.8  | 稳压二极管主要特性 .....                 | 314 |
|        |                                                                           |     | 7.2.9  | 发光二极管主要特性 .....                 | 314 |
|        |                                                                           |     | 7.2.10 | 晶体管主要特性 .....                   | 314 |
|        |                                                                           |     | 7.2.11 | 场效应晶体管主要特性 .....                | 316 |
|        |                                                                           |     | ★7.3   | 数十种元器件特性曲线 .....                | 317 |
|        |                                                                           |     | 7.3.1  | 电阻器负载曲线和压敏电阻器特性<br>曲线 .....     | 317 |
|        |                                                                           |     | 7.3.2  | 热敏电阻器特性曲线 .....                 | 318 |
|        |                                                                           |     | 7.3.3  | 光敏电阻器、湿敏电阻器和磁敏<br>电阻器特性曲线 ..... | 320 |

## 第7章 百种元器件主要参数、特性和

### 曲线查询平台 .....

#### ★7.1 数十种元器件主要参数查询平台 .....

|        |                                     |     |
|--------|-------------------------------------|-----|
| 7.3.4  | 五种类型电位器特性曲线 .....                   | 321 |
| 7.3.5  | 电容器特性曲线 .....                       | 323 |
| 7.3.6  | 普通二极管和红外发光二极管特性曲线 .....             | 324 |
| 7.3.7  | 普通发光二极管特性曲线 .....                   | 324 |
| 7.3.8  | 超高亮 LED 特性曲线 .....                  | 325 |
| 7.3.9  | 稳压二极管和变容二极管特性曲线 .....               | 326 |
| 7.3.10 | 肖特基二极管、恒流二极管和双向触发二极管特性曲线 .....      | 327 |
| 7.3.11 | 隧道二极管、瞬态电压抑制二极管和硅光敏二极管特性曲线 .....    | 328 |
| 7.3.12 | 晶体管输入、输出特性曲线 .....                  | 329 |
| 7.3.13 | 晶体管基极电流与放大倍数之间特性曲线 .....            | 329 |
| 7.3.14 | 光敏晶体管光照特性曲线 .....                   | 330 |
| 7.3.15 | 低压差稳压器集成电路特性曲线 .....                | 331 |
| 7.3.16 | 普通晶闸管特性曲线 .....                     | 331 |
| 7.3.17 | 逆导晶闸管和双向晶闸管特性曲线 .....               | 332 |
| 7.3.18 | 场效应晶体管特性曲线 .....                    | 332 |
| 7.3.19 | 电子管特性曲线 .....                       | 333 |
| 7.3.20 | 显像管、石英晶体振荡器、声表面波滤波器和陶瓷滤波器特性曲线 ..... | 334 |
| 7.3.21 | 动圈式传声器和硅光电池特性曲线 .....               | 335 |
| 7.3.22 | 散热片和聚合开关特性曲线 .....                  | 336 |

## 第 8 章 百种元器件参数识别和引脚

### 极性识别方法 .....

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| ★8.1  | 百十种元器件参数表示形式和识别方法 ..... | 338 |
| 8.1.1 | 四环电阻器色环表示方法和识别方法 .....  | 338 |
| 8.1.2 | 五环电阻器色环表示方法和识别方法 .....  | 340 |
| 8.1.3 | 第五条色环为黑色色环电阻器识别方法 ..... | 340 |
| 8.1.4 | 第五条色环为白色色环电阻器识别方法 ..... | 341 |
| 8.1.5 | 一条黑色色环电阻器识别方法 .....     | 341 |
| 8.1.6 | 六条色环电阻器色环识别方法 .....     | 342 |
| 8.1.7 | 电阻器参数直标法和字母数字混标法 .....  | 342 |

|        |                                     |     |
|--------|-------------------------------------|-----|
| 8.1.8  | 电阻器参数三位数和四位数表示法 .....               | 342 |
| 8.1.9  | 电阻器误差表示法 .....                      | 343 |
| 8.1.10 | 可变电阻器和电位器标注方式 .....                 | 343 |
| 8.1.11 | 电容器参数直标法和字母数字混标法 .....              | 344 |
| 8.1.12 | 电容器三位数表示法、四位数字表示法和色标法 .....         | 345 |
| 8.1.13 | 电容器允许偏差表示方法 .....                   | 346 |
| 8.1.14 | 电容器温度字母表示和工作电压色标方法 .....            | 348 |
| 8.1.15 | 常用电容器标称容量系列和参数运用说明 .....            | 348 |
| 8.1.16 | 电感器直标法和色标法 .....                    | 350 |
| 8.1.17 | 固定电感器额定电流等级表示方法和电感器参数运用说明 .....     | 350 |
| 8.1.18 | 变压器标注方法和参数运用说明 .....                | 350 |
| 8.1.19 | 其他参数识别说明 .....                      | 351 |
| ★8.2   | 百种元器件引脚极性识别方法 .....                 | 351 |
| 8.2.1  | 排阻共用端识别方法和两种引脚排序识别方法 .....          | 352 |
| 8.2.2  | 四种可变电阻器引脚识别方法 .....                 | 353 |
| 8.2.3  | 两种电位器引脚识别方法 .....                   | 354 |
| 8.2.4  | 多种有极性电解电容器正负引脚识别方法 .....            | 354 |
| 8.2.5  | 三种微调电容器引脚识别方法 .....                 | 356 |
| 8.2.6  | 四种可变电容器引脚识别方法 .....                 | 357 |
| 8.2.7  | 磁棒天线线圈和扬声器引脚识别方法 .....              | 358 |
| 8.2.8  | 四种普通二极管引脚识别方法 .....                 | 360 |
| 8.2.9  | 七种发光二极管引脚极性识别方法 .....               | 360 |
| 8.2.10 | 红外发光二极管、稳压二极管和变容二极管引脚识别方法 .....     | 362 |
| 8.2.11 | 快恢复和超快恢复二极管、恒流二极管和变阻二极管引脚识别方法 ..... | 362 |
| 8.2.12 | 国产金属封装晶体管引脚识别方法 .....               | 363 |
| 8.2.13 | 国产塑料封装晶体管引脚识别方法 .....               | 364 |
| 8.2.14 | 国产微型晶体管引脚识别方法 .....                 | 365 |
| 8.2.15 | 进口晶体管引脚识别方法 .....                   | 365 |
| 8.2.16 | 贴片晶体管引脚识别方法 .....                   | 365 |
| 8.2.17 | 两种类型单列直插集成电路引脚分布规律及识别方法 .....       | 365 |

## 第9章 图文详解串联、并联、分压

|                     |                           |     |
|---------------------|---------------------------|-----|
| 8.2.18              | 三种类型双列集成电路引脚分布规律及识别方法     | 368 |
| 8.2.19              | 四列集成电路引脚分布规律及识别方法         | 369 |
| 8.2.20              | 金属封装和反向分布集成电路引脚分布规律及识别方法  | 369 |
| 8.2.21              | 石英晶体振荡器和陶瓷滤波器引脚识别方法       | 370 |
| 8.2.22              | 两种驻极体电容传声器引脚识别方法          | 371 |
| 8.2.23              | 直流有刷电机引脚、转速、转向和稳速类型识别方法   | 371 |
| 8.2.24              | 波段开关引脚识别方法、双声道插头和插座引脚识别方法 | 372 |
| 8.2.25              | 电脑接口引脚识别方法                | 372 |
| <b>RCL 单元电路</b> 379 |                           |     |
| ★9.1                | 图解串联电路                    | 379 |
| 9.1.1               | 图解电阻串联电路                  | 379 |
| 9.1.2               | 图解电容串联电路                  | 381 |
| 9.1.3               | 图解电感器串联电路                 | 383 |
| 9.1.4               | 图解直流电源串联电路                | 383 |
| 9.1.5               | 图解二极管串联电路                 | 384 |
| 9.1.6               | 图解 RC 串联电路                | 387 |
| ★9.2                | 图解并联电路                    | 389 |
| 9.2.1               | 图解电阻并联电路                  | 389 |
| 9.2.2               | 图解电容并联电路                  | 390 |
| 9.2.3               | 图解电感并联电路                  | 391 |
| 9.2.4               | 直流电源并联电路                  | 392 |
| 9.2.5               | 三端稳压集成电路并联运用电路            | 392 |
| 9.2.6               | 图解 RC 并联电路阻抗特性            | 392 |
| 9.2.7               | 图解 RC 串并联电路阻抗特性           | 393 |
| ★9.3                | 图解分压电路                    | 395 |
| 9.3.1               | 图解电阻分压电路                  | 395 |
| 9.3.2               | 图解其他分压电路                  | 397 |
| ★9.4                | 图解 RC 移相电路和 RL 移相电路       | 399 |
| 9.4.1               | 图解 RC 移相电路                | 399 |
| 9.4.2               | 图解 RL 移相电路                | 401 |
| ★9.5                | 图解 LC 谐振电路                | 402 |
| 9.5.1               | 图解 LC 自由谐振过程              | 402 |
| 9.5.2               | 图解 LC 并联谐振电路主要特性          | 404 |
| 9.5.3               | 图解 LC 串联谐振电路主要特性          | 408 |
| ★9.6                | 图解 LC 并联和 LC 串联谐振实用电路     | 410 |
| 9.6.1               | 图解 LC 并联谐振实用电路            | 410 |

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| 9.6.2 | 图解 LC 串联谐振实用电路          | 412 |
| ★9.7  | 图解 RC 实用电路              | 413 |
| 9.7.1 | 图解 RC 消火花电路和录音高频补偿电路    | 413 |
| 9.7.2 | 图解传声器电路中的 RC 低频噪声切除电路   | 415 |
| 9.7.3 | 图解积分电路                  | 416 |
| 9.7.4 | 图解 RC 去加重电路             | 417 |
| 9.7.5 | 图解微分电路                  | 419 |
| 9.7.6 | 图解 RC 低频衰减电路和 RC 低频提升电路 | 421 |

## 第10章 图解电源电路

|        |                     |     |
|--------|---------------------|-----|
| ★10.1  | 直流电源电路综述            | 423 |
| 10.1.1 | 图解无稳压电源电路框图及各单元电路作用 | 423 |
| 10.1.2 | 图解调整管稳压电源电路框图       | 426 |
| 10.1.3 | 图解开关电源电路框图          | 426 |
| 10.1.4 | 电源电路种类              | 427 |
| 10.1.5 | 直流电源电路几个特点          | 430 |
| ★10.2  | 图解电源变压器电路和整流电路      | 432 |
| 10.2.1 | 图解电源开关电路和变压器降压电路    | 432 |
| 10.2.2 | 图解全波整流电路            | 434 |
| 10.2.3 | 图解桥式整流电路            | 436 |
| ★10.3  | 图解滤波电路              | 438 |
| 10.3.1 | 图解典型电容滤波电路          | 438 |
| 10.3.2 | 图解 $\pi$ 型 RC 滤波电路  | 442 |
| ★10.4  | 图解三端稳压集成电路          | 444 |
| 10.4.1 | 图解典型三端稳压集成电路        | 444 |
| 10.4.2 | 图解三端稳压集成电路输出电压微调电路  | 445 |
| 10.4.3 | 图解三端稳压集成电路增大输出电流电路  | 445 |
| ★10.5  | 图解串联调整型稳压电路         | 446 |
| 10.5.1 | 串联调整型稳压电路组成及各单元电路作用 | 446 |
| 10.5.2 | 图解典型串联调整型稳压电路       | 448 |
| ★10.6  | 图解直流电压供给电路          | 450 |
| 10.6.1 | 图解直流电压供给电路          | 451 |
| 10.6.2 | 图解整机直流电压供给电路方法      | 452 |

## 第11章 图解直流偏置电路和放大器

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 电路 .....                | 458 |
| ★11.1 图解晶体管直流偏置电路 ..... | 458 |



|                                             |     |                                            |     |
|---------------------------------------------|-----|--------------------------------------------|-----|
| 11.1.1 图解晶体管固定式偏置电路 .....                   | 458 | 电容电路 .....                                 | 505 |
| 11.1.2 图解晶体管分压式偏置电路 .....                   | 460 | 11.9.2 图解分立元器件复合互补推挽式<br>OTL 功率放大器 .....   | 506 |
| 11.1.3 图解集电极-基极负反馈式晶体管<br>偏置电路 .....        | 465 |                                            |     |
| ★11.2 图解晶体管集电极直流电路和发射极<br>直流电路 .....        | 466 | <b>第12章 图解振荡器</b> .....                    | 509 |
| 11.2.1 图解晶体管集电极直流电路 .....                   | 466 | ★12.1 图解正弦波振荡器 .....                       | 509 |
| 11.2.2 图解晶体管发射极直流电路 .....                   | 469 | 12.1.1 初步了解正弦波振荡器 .....                    | 509 |
| ★11.3 图解多级放大器中直流偏置电路和<br>甲乙类放大器直流偏置电路 ..... | 471 | 12.1.2 图解 RC 移相式正弦波振荡器 .....               | 511 |
| 11.3.1 图解多级放大器中直流偏置电路 .....                 | 471 | 12.1.3 图解变压器耦合正弦波振荡器 .....                 | 512 |
| 11.3.2 图解甲乙类放大器直流偏置电路 .....                 | 473 | 12.1.4 图解电感三点式正弦波振荡器 .....                 | 515 |
| 11.3.3 小信号检波电路中的二极管正向<br>偏置电路 .....         | 477 | 12.1.5 图解电容三点式正弦波振荡器 .....                 | 516 |
| ★11.4 图解场效应晶体管实用偏置电路和<br>电子管偏置电路 .....      | 477 | 12.1.6 图解差动式振荡器 .....                      | 518 |
| 11.4.1 图解场效应晶体管实用偏置电路 .....                 | 478 | 12.1.7 图解双管推挽式振荡器 .....                    | 520 |
| 11.4.2 图解电子管放大器直流电路 .....                   | 480 | ★12.2 图解双稳态、单稳态和无稳态振荡器 .....               | 522 |
| ★11.5 图解晶体管共发射极放大器 .....                    | 482 | 12.2.1 图解集-基极耦合双稳态电路 .....                 | 523 |
| 11.5.1 直流和交流电路分析 .....                      | 482 | 12.2.2 图解发射极耦合双稳态电路 .....                  | 526 |
| 11.5.2 共发射极放大器中元器件作用<br>分析 .....            | 483 | 12.2.3 图解集-基极耦合单稳态电路 .....                 | 527 |
| 11.5.3 共发射极放大器主要特性 .....                    | 486 | 12.2.4 图解发射极耦合单稳态电路 .....                  | 529 |
| ★11.6 图解晶体管共集电极放大器 .....                    | 488 | 12.2.5 图解自激多谐振荡器 .....                     | 532 |
| 11.6.1 共集电极单级放大器电路特征和<br>直流电路分析 .....       | 488 | <b>第13章 图解集成电路放大器</b> .....                | 535 |
| 11.6.2 共集电极放大器交流电路和发射<br>极电阻分析 .....        | 488 | ★13.1 集成电路放大器基础知识 .....                    | 535 |
| 11.6.3 共集电极放大器主要特性 .....                    | 489 | 13.1.1 掌握四根常用引脚外电路的实用<br>意义 .....          | 535 |
| ★11.7 图解共基极放大器 .....                        | 491 | 13.1.2 集成电路四根引脚种类 .....                    | 536 |
| 11.7.1 共基极放大器直流电路 .....                     | 491 | 13.1.3 集成电路电源脚和接地引脚外<br>电路 .....           | 537 |
| 11.7.2 共基极放大器交流电路及元器件<br>作用分析 .....         | 492 | 13.1.4 集成电路输入引脚外电路 .....                   | 540 |
| 11.7.3 共基极放大器主要特性 .....                     | 493 | 13.1.5 集成电路输出引脚外电路 .....                   | 540 |
| 11.7.4 三种类型放大器综述 .....                      | 494 | 13.1.6 集成电路内电路几种主要元器件 .....                | 542 |
| 11.7.5 三种类型放大器的判断方法 .....                   | 494 | ★13.2 集成电路音频前置放大器 .....                    | 543 |
| ★11.8 图解音频功率放大器 .....                       | 495 | 13.2.1 集成电路引脚作用和直流、交流<br>电路分析 .....        | 544 |
| 11.8.1 图解音频功率放大器电路的结构、<br>作用和种类 .....       | 496 | 13.2.2 集成电路交流负反馈电路 .....                   | 544 |
| 11.8.2 图解甲类放大器、乙类放大器和<br>甲乙类放大器 .....       | 497 | ★13.3 OTL 集成电路音频功率放大器 .....                | 545 |
| 11.8.3 图解推挽、互补推挽和复合互补<br>推挽放大器 .....        | 500 | 13.3.1 单声道 OTL 集成电路音频功率<br>放大器 .....       | 545 |
| 11.8.4 功率放大器定阻式输出和定压式<br>输出 .....           | 504 | 13.3.2 双声道 OTL 集成电路音频功率<br>放大器 .....       | 548 |
| ★11.9 图解 OTL 功率放大器 .....                    | 505 | ★13.4 OCL 和 BTL 集成电路音频功率<br>放大器 .....      | 551 |
| 11.9.1 图解 OTL 功率放大器输出端耦合                    |     | 13.4.1 单声道 OCL 集成电路音频功率<br>放大器 .....       | 552 |
|                                             |     | 13.4.2 采用两个单声道 OCL 集成电路<br>构成 BTL 电路 ..... | 553 |

|                                            |     |                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|--------------------------------------------|-----|
| 13.4.3 单声道 BTL 集成电路音频功率放大器 .....           | 555 | 14.3.2 码的传输速率和带宽 .....                     | 593 |
| 13.4.4 BTL 功率放大器的自倒相电路 ...                 | 557 | 14.3.3 二进制数存取 .....                        | 594 |
| ★13.5 集成运算放大器 .....                        | 558 | ★14.4 数字电路知识点 .....                        | 594 |
| 13.5.1 集成运算放大器基础知识 .....                   | 558 | 14.4.1 门电路知识点 .....                        | 594 |
| 13.5.2 集成运算放大器的电路符号、<br>电路组成及各单元电路作用 ..... | 559 | 14.4.2 触发器知识点 .....                        | 598 |
| 13.5.3 集成运算放大器输入输出信号<br>相位特性和输出信号电压 .....  | 560 | 14.4.3 组合逻辑电路知识点 .....                     | 600 |
| 13.5.4 集成运算放大器应用及电路<br>分析方法 .....          | 561 | 14.4.4 时序逻辑电路知识点 .....                     | 603 |
| 13.5.5 集成运算放大器两种电压供给<br>电路 .....           | 562 |                                            |     |
| 13.5.6 由集成运算放大器构成的音频<br>放大器 .....          | 563 | <b>第15章 音频和视频数字化基本原理</b> ...               | 605 |
| 13.5.7 由集成运算放大器构成的恒压源<br>电路 .....          | 563 | ★15.1 音频信号数字化基础知识 .....                    | 605 |
| 13.5.8 由集成运算放大器构成的电压<br>比较器 .....          | 564 | 15.1.1 音频模拟信号数字化过程 .....                   | 605 |
| 13.5.9 由集成运算放大器构成的 +1<br>放大器 .....         | 565 | 15.1.2 了解音频信号数字化过程的意义 ...                  | 608 |
|                                            |     | ★15.2 音频信号的采样、保持、量化、编码<br>和调制过程 .....      | 608 |
|                                            |     | 15.2.1 音频信号采样和保持 .....                     | 608 |
|                                            |     | 15.2.2 音频信号量化 .....                        | 611 |
|                                            |     | 15.2.3 音频信号编码 .....                        | 612 |
|                                            |     | 15.2.4 A/D 转换器 .....                       | 613 |
|                                            |     | 15.2.5 调制 .....                            | 614 |
|                                            |     | ★15.3 视频信号数字化基础知识 .....                    | 617 |
|                                            |     | 15.3.1 视频信号数字化概述 .....                     | 617 |
|                                            |     | 15.3.2 频带压缩编码 .....                        | 621 |
|                                            |     | 15.3.3 离散余弦变换 (DCT) .....                  | 623 |
|                                            |     | ★15.4 MPEG1 和 MPEG2 概述 .....               | 624 |
|                                            |     | 15.4.1 概述 .....                            | 624 |
|                                            |     | 15.4.2 MPEG1 的图像格式 .....                   | 626 |
|                                            |     | 15.4.3 MPEG1 的音频格式 .....                   | 629 |
|                                            |     | 15.4.4 MPEG1 系统格式 .....                    | 630 |
|                                            |     | 15.4.5 MPEG2 简介 .....                      | 631 |
|                                            |     | ★15.5 光盘简介 .....                           | 632 |
|                                            |     | 15.5.1 机械、光学和磁性存储技术 .....                  | 633 |
|                                            |     | 15.5.2 光盘种类 .....                          | 633 |
|                                            |     | 15.5.3 光驱 .....                            | 635 |
|                                            |     | ★15.6 CD 光盘 .....                          | 635 |
|                                            |     | 15.6.1 光盘结构 .....                          | 635 |
|                                            |     | 15.6.2 光盘信息分布 .....                        | 636 |
|                                            |     | 15.6.3 信息的拾取 .....                         | 637 |
|                                            |     | 15.6.4 EFM 码与 CD 光盘岛坑关系和<br>数据位流 .....     | 638 |
|                                            |     | 15.6.5 性能参数 .....                          | 639 |
| <b>第14章 数字电路基础</b> .....                   | 572 |                                            |     |
| ★14.1 数字电路与数字集成电路基础知识 ...                  | 572 | <b>第16章 微控制器及微控制器集成电路</b><br>引脚外电路分析 ..... | 641 |
| 14.1.1 数字电路 .....                          | 572 | ★16.1 微控制器组成 .....                         | 641 |
| 14.1.2 数字化优点 .....                         | 574 | 16.1.1 微控制器硬件基本结构 .....                    | 642 |
| 14.1.3 熟悉常见 TTL 和高速 CMOS 集成<br>电路 .....    | 575 |                                            |     |
| 14.1.4 了解 CMOS 集成电路 .....                  | 576 |                                            |     |
| 14.1.5 数字集成电路基本识图方法 .....                  | 579 |                                            |     |
| 14.1.6 数字集成电路四根常用引脚外<br>电路 .....           | 580 |                                            |     |
| 14.1.7 数字集成电路电源引脚外电路 ...                   | 580 |                                            |     |
| ★14.2 二进制数与二进制编码 .....                     | 581 |                                            |     |
| 14.2.1 十进制数和二进制数 .....                     | 581 |                                            |     |
| 14.2.2 二进制数四则运算 .....                      | 582 |                                            |     |
| 14.2.3 十进制数与二进制数之间转换<br>方法 .....           | 585 |                                            |     |
| 14.2.4 码的基本名称 .....                        | 585 |                                            |     |
| 14.2.5 二进制编码的十进制码 .....                    | 586 |                                            |     |
| 14.2.6 ASCII 和自然二进制码 .....                 | 588 |                                            |     |
| 14.2.7 能够表示正负数的二进制码——2<br>的补码 (补码) .....   | 588 |                                            |     |
| 14.2.8 能够表示正负数的其他二进制码 ...                  | 590 |                                            |     |
| ★14.3 数字电路二进制码传输和存储 .....                  | 592 |                                            |     |
| 14.3.1 二进制码传输 .....                        | 592 |                                            |     |

|                                         |     |                                             |     |
|-----------------------------------------|-----|---------------------------------------------|-----|
| 16.1.2 微控制器各部分电路作用 .....                | 642 | 16.5.2 存储器种类 .....                          | 665 |
| 16.1.3 硬件和软件 .....                      | 644 | 16.5.3 半导体存储器种类 .....                       | 665 |
| 16.1.4 指令系统、周期和寻址方式 .....               | 645 | 16.5.4 半导体存储器结构 .....                       | 666 |
| 16.1.5 微控制器小结 .....                     | 645 | 16.5.5 识图小结 .....                           | 668 |
| ★16.2 中央处理单元 (CPU) .....                | 646 | ★16.6 随机存储器 (RAM) .....                     | 669 |
| 16.2.1 算术逻辑运算部件 .....                   | 646 | 16.6.1 随机存储器 (RAM) 的特性、<br>结构和种类 .....      | 669 |
| 16.2.2 控制逻辑部件 .....                     | 647 | 16.6.2 静态随机存储器 (SRAM) .....                 | 670 |
| 16.2.3 寄存器部件 .....                      | 648 | 16.6.3 动态随机存储器 (DRAM) .....                 | 670 |
| 16.2.4 总线 .....                         | 649 | ★16.7 只读存储器 (ROM) .....                     | 672 |
| 16.2.5 单 CPU 和多 CPU 控制系统 .....          | 651 | 16.7.1 只读存储器 (ROM) 的特性、<br>结构和种类 .....      | 672 |
| ★16.3 微控制器工作过程简介 .....                  | 652 | 16.7.2 掩模式只读存储器 .....                       | 673 |
| 16.3.1 微控制器基本操作 .....                   | 652 | 16.7.3 可编程只读存储器 (PROM) .....                | 674 |
| 16.3.2 程序顺序执行过程简介 .....                 | 654 | 16.7.4 可编程可改写只读存储器 (EPROM<br>和 EAROM) ..... | 674 |
| 16.3.3 控制方式 .....                       | 655 | ★16.8 存储器连接 .....                           | 677 |
| 16.3.4 程序非顺序执行中的中断 .....                | 656 | 16.8.1 存储器芯片扩充 .....                        | 677 |
| 16.3.5 子程序调用与返回、堆栈 .....                | 657 | 16.8.2 存储器与 CPU 的连接 .....                   | 678 |
| ★16.4 微控制器集成电路主要引脚外电路<br>分析 .....       | 658 | 16.8.3 CPU 与存储器连接 .....                     | 679 |
| 16.4.1 微控制器集成电路电源引脚电路 ...               | 658 | 16.8.4 EAROM 应用和连接 .....                    | 680 |
| 16.4.2 微控制器集成电路 9 种外接振荡<br>元件引脚电路 ..... | 658 | 16.8.5 识图小结 .....                           | 682 |
| 16.4.3 微控制器集成电路复位引脚电路 ...               | 660 |                                             |     |
| 16.4.4 微控制器集成电路其他引脚 .....               | 663 |                                             |     |
| ★16.5 存储器基础 .....                       | 664 | 数字电路自测题及参考答案 .....                          | 683 |
| 16.5.1 名词解析 .....                       | 664 |                                             |     |





# 第 1 章

## 电子技术学习内容和“我的500”行动强化版

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！

### 1.1 实战学习熟悉的日常电路

本节阅读建议：仔细阅读，深刻体会，深入掌握。

本节难度系数：2 级（本书将各章节按阅读难度分成 10 级，以便读者有一个心理准备，有的放矢，以便更好地阅读本书）。

本节记忆系数：8 级（本书将各章节按要求记忆程度分成 10 级，以便读者有一个心理准备，有的放矢，以便更好地阅读本书）。



#### 重要提示

对于初学者而言，电子电路是什么样，如何分析等疑问众多。这里首先通过简单实用电路来认知电子电路工作原理分析。

为了帮助初学者能更好地认识电子电路，这里从感性认识出发，再提升到理性认识。

#### ★1.1.1 音乐门铃电路的感性认识

对家里用的电子门铃很熟悉吧，图 1-1 所示是它的电子电路，初学者用过门铃，但不一定见过门铃电路，如果它不响了能修理吗？如果想学会这个电路的故障检修，首先得搞懂它的工作原理，否则就是乱弄一通，即使修理好了也是运气成分在起作用。

##### 1. 认识电路中的电子元器件

认识元器件从认识元器件的外形特征起步。音乐门铃电路中有 4 个元器件和一些连接各元器件的导线。

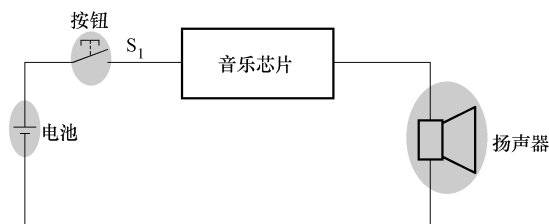


图 1-1 家用电子门铃电路



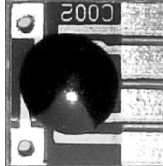
(1) 电池

| 名称  | 电 池                                                                               |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 实物图 |  |
| 说明  | 它是整个电路的电力源,电子电路通常少不了这样的电力源                                                        |

(2) 按钮

| 名称  | 按 钮                                                                                |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|
| 实物图 |  |
| 说明  | 它是用来控制电路的元件,没有按钮,电路就无法让门铃响时就响,不响时不响                                                |

(3) 音乐芯片

| 名称  | 音 乐 芯 片                                                                           |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 实物图 |  |
| 说明  | 它是用来产生音乐声音的电路,又称音乐集成电路                                                            |

(4) 扬声器

| 名称  | 扬 声 器                                                                              |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|
| 实物图 |  |
| 说明  | 它是用来发出声音的器件,门铃发出的声音就是从它传出来的,凡是需要出声音的电子电器都需要扬声器                                     |

(5) 导线

| 名称  | 导 线                                                                                 |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 实物图 |  |
| 说明  | 它用来连接各元器件,让电流通过                                                                     |

2. 电路工作过程说明

当按钮 S, 没有接通时, 电池不能接到门铃电路中, 所以这时扬声器不响。当按下按钮 S<sub>1</sub> 后, 开关 S<sub>1</sub> 处于接通状态, 电池接入门铃电路, 电路开始工作, 扬声器发出音乐声。



重要提示

这样的电路分析显然是很简单的, 还没有做到真正掌握了这个电路的工作原理, 因为还有许多电路工作的深层次原理没有搞明白, 这需要读者在本书的不断学习中进一步提高。

★1.1.2 初步了解电子电路的分析全过程和思路方法



重要提示

首次接触电路图的初学者, 最好不要直接去盲目分析电路工作原理。首先, 掌握一些电子技术的基础知识, 这样在电路分析中可以少受挫折, 有利于自信心的建立。

初学阶段的自信心建立, 对日后漫长的电子技术学习有着举足轻重的影响。所以, 掌握一定的基础知识之后, 再进行电路分析的学习是科学的。

初学者应该从元器件知识起步，从学习基础知识点开始！通过系统学习，将一个个知识点连成一线，成为一片。

为了说明电路工作原理分析过程中的基本思路和过程，这里以图 1-2 所示生活中常见的手电筒电路为例，介绍一个最简单电路的分析范例，以供初学者进行电路分析时模仿，通过这一模仿熟悉电路分析全过程，学到电路分析的方法和思路。

### 1. 分析首步是了解电路组成

了解电路组成是分析电路的第一步，通过这一步可以大致了解电路的组成和大致情况，如通过了解电路中有哪些主要元器件，可以初步推断电路的功能等。

组成手电筒电路共有 3 个元器件和导线： $S_1$  是电源开关，EL 是小电珠， $+U$  是直流电源（电池），接地点通过导线与电源（电池）的负极相连。

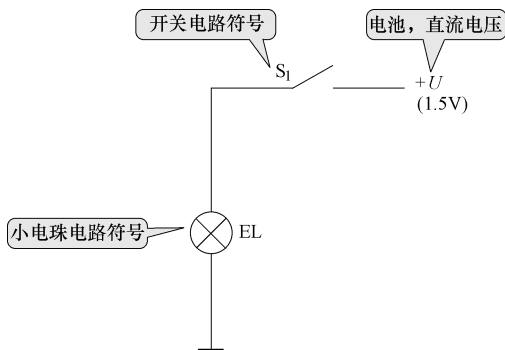


图 1-2 手电筒电路

### 2. 了解电路功能有利于电路分析

#### 重要提示

在电路分析中，如果能够了解电路的功能，对电路分析具有很好的引导作用，能比较方便地找到电路分析的切入点，有助于电路分析的思路展开。

例如，手电筒电路的功能是控制小电珠的发光，需要小电珠点亮时让它发光，不需要小电珠亮时让它熄灭。有了这一电路功能的引导作用，对这一电路分析的方向就明确了，即分析电路是如何实现小电珠点亮和熄灭控制的，根据这一点并结合电源开关的基本功能和特性，就可以知道手电筒电路分析的关键元器件是电路中的电源开关。

#### 重要提示

电路功能方面的信息了解越多，对电路分析越有益。了解电路的名称可以大致知道电路的功能。例如，了解到某一电路是音频放大器电路，这样首先可以知道它是一种放大器电路，其次知道它是放大音频信号的，那么电路分析中就会运用一些音频放大器电路分析的方法和技巧，有益于对音频放大器电路的工作原理分析。

### ★1.1.3 电路是如何分析的

为了讲述电路分析的方便，再将手电筒电路简画成图 1-3 所示，这一电路的分析思路和过程如下。

#### 1. 开关通断控制分析

根据电路功能可知，这一电路的关键是通过开关  $S_1$  实现对小电珠 DX 的点亮和熄灭的控制，所以电路分析的出发点是设开关  $S_1$  断开时的电路工作状态，和  $S_1$  接通后的电路工作状态。

#### 2. 开关接通分析

当电源开关  $S_1$  接通时，直流工作电压  $+U$  产生的电流，通过闭合的开关  $S_1$  流过小电珠 EL，再通过

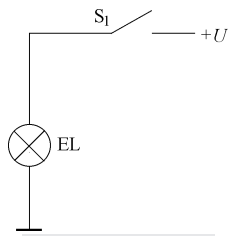


图 1-3 手电筒电路简图

地线流到电池的负极，由电池的内电路形成电流的回路。因为小电珠中流有电流，所以小电珠发光。

### 3. 开关断开分析

当电源开关  $S_1$  断开时，因为小电珠所在回路被断开，所以没有电流流过小电珠 EL，所以小电珠熄灭。

通过上述分析可知，小电珠 EL 通过电源开关  $S_1$  的断开、闭合来实现点亮和熄灭的控制，实现电路功能。

这一电路中，电池是电路中的电源，也就是电路工作的“动力”源；小电珠是电源的负载，也就是电源供电的对象，或是电路服务的中心；电源开关是控制元器件，是实现小电珠点亮与熄灭控制必不可少的元器件。这三个元器件的作用通过这一分析也就明确了。



#### 重要提示

从上面的电路分析思路过程中不难看出，电路工作原理的分析紧紧地与电路中元器件特性紧密地联系在一起，如果不了解这 3 只元器件的作用和特性，那对这一电路分析寸步难行是逻辑的必然。

所以，电路分析中元器件特性起着重要的支持作用，初学者必须掌握好元器件的特性，至少是主要特性。

## ★1.1.4 元器件特性对电路分析的作用

### 1. 电源开关 $S_1$ 特性对电路分析的作用

关于开关特性对电路分析的作用主要说明如下。

电路中的  $S_1$  是一种单刀开关，它有两种工作状态：一是开关断开，这时它的两个触点之间为开路，两触点间的电阻为无穷大；二是接通状态，这时它的两个触点之间为接通状态，两触点之间的电阻为零，图 1-4 所示是单刀开关两种状态示意图。



图 1-4 单刀开关两种状态示意图

单刀开关只有两种工作状态，在分析由这种开关参与的电路时，就是假设开关处于断开状态和接通状态两种情况，分别分析这两种状态下开关对电路工作的影响，这就是开关电路的分析思路和方法。由于这一电路中控制元器件只有开关  $S_1$ ，所以对开关  $S_1$  电路的分析就是对这一电路的分析。



#### 请想想

如果不知道开关  $S_1$  有通与断两种工作状态，如果不知道它在接通、断开下两触点之间电阻特性，那这个电路如何分析？

开关的种类很多，同类元器件有许许多多的种类，图 1-5 所示是开关中的一种双刀三掷开关，它们共同的特性是能够实现开关的通与断，但是不同类型的开关还有它们的特性，所以在分析这些开关件参与的电路工作原理时，要先搞懂这些开关件的特性。

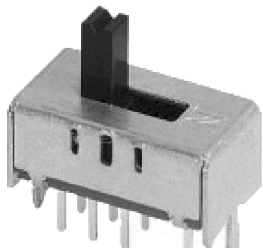


图 1-5 双刀三掷开关外形



好方法提示

电路分析中的联想理解是一种好方法，例如对电路中开关  $S_1$  的接通、断开工作过程难于理解时，可以联想到家庭中所用的电灯开关，它的开关过程与上述电路中的开关  $S_1$  开、关控制过程一样。

2. 负载小电珠特性对电路分析影响

在手电筒电路中，小电珠 EL 是整个电路服务中的中心元器件，如图 1-6 所示，如果不了解小电珠的特性，那么对电路的分析就没有目的性。

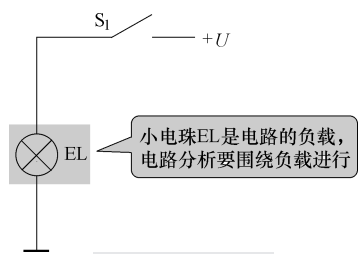


图 1-6 示意图

重要提示

众所周知，当小电珠通入电流时，它会发光，如果不了解这一点就不知道这个电路用来控制小电珠的什么，就会可能闹出控制小电珠发热的笑话来。

电路分析中，搞清楚负载的特性比搞清楚电路中其他元器件更为重要。

这里举一例加以进一步说明：如果放大器的负载是扬声器，如图 1-7 所示。说明这个电路最终是给扬声器输入音频信号电流，使扬声器发出声音，不了解扬声器能将电信号转换成声音的特性，就无法得到正确的电路分析结果。

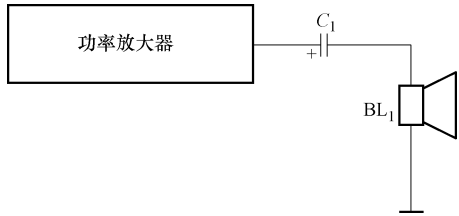


图 1-7 扬声器电路示意图

3. 关键元器件与辅助元器件的区别

一个实用电路中，有许多的元器件，其中有一部分是关键元器件，也有许多的是辅助元器件，这些辅助元器件是为关键元器件服务的，或是用来完善、扩展电路功能的，电路分析中要学会分清关键和辅助元器件，抓住关键元器件。

笔者回忆

笔者有件事情记忆犹新。入门初期装配单管直放式收音机，装响之后有一位老师从收音机中拆下好几个元器件，奇怪的是收音机仍然在响，当时的感觉电子世界太奇妙了，好长时间内一直搞不懂这是为什么。

识图方法提示

抓住电路中的关键元器件不是一件简单的事情，在初学阶段甚至是非常困难的，下列几点可供参考：

- 1) 二极管、晶体管和集成电路等有源器件通常是电路中的关键元器件，围绕着它们的电阻器、电容器是为这些有源元器件服务的元件。
- 2) 电路图中远离有源元器件的电阻器、电容器通常是实现一些辅助功能的元件。关键元器件不能少，否则电路不能工作。辅助元器件少了，电路工作性能下降。

### ★1.1.5 负载与负载识别方法

前面的电路分析中已经知道负载在电路分析中的重要“地位”。手电筒电路中的小电珠是电源（电池）的负载，又例如家庭中使用的灯泡、洗衣机等用电器都称为电源的负载。

#### 1. 负载的中心地位

电路中，负载是整个电路服务的重心，电路所实现的功能都是为了负载，所有电路中的元器件都是为了负载这个中心而设置的。

例如，小电珠是手电筒电路中的负载，电池就是要给小电珠供电的；音频功率放大器的负载是扬声器，音频功率放大器就是要给扬声器提供音频功率信号。

#### 2. 了解负载的种类

比较熟悉的负载是电源的负载，如手电筒电路中的小电珠就是电源的负载，洗衣机是电源的负载。实际上并不是只有电源才有负载，还有许多形式的负载。例如，电动机是电动机控制电路的负载，如图 1-8 所示。

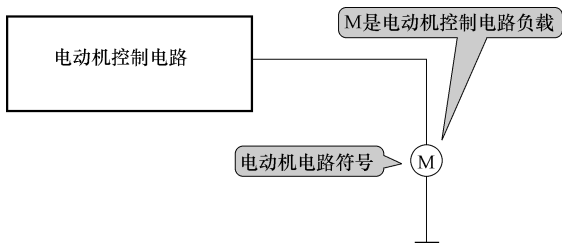


图 1-8 电动机控制电路框图



#### 重要提示

负载可以是一个元器件，也可以是一个具体的电路。例如，小电珠、扬声器、电动机都是一种元器件。

负载电路的情况很多，例如接在电源电路输出端的整机电路就是电源电路的负载电路，后一级放大器是前一级放大器的负载电路，如图 1-9 所示。

负载或负载电路不只是在整机电路中，在局部电路中也存在负载或负载电路的概念，例如晶体管放大器电路中的集电极负载电阻概念，图 1-10 所示电路中的电阻  $R_2$  就是晶体管  $VT_1$  的集电极负载电阻。

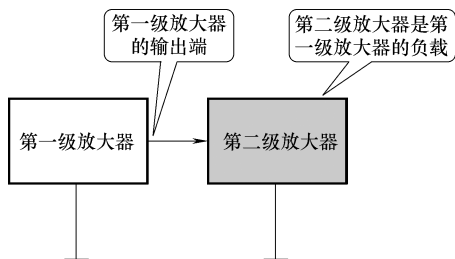


图 1-9 负载电路示意图

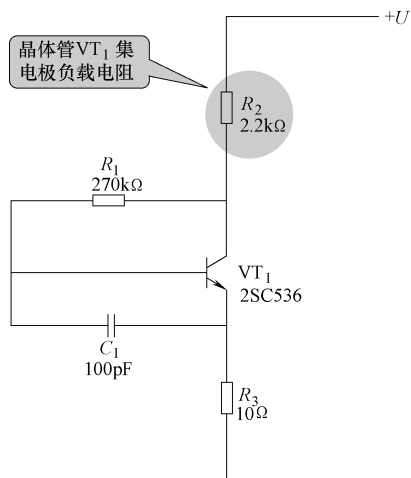


图 1-10 晶体管集电极负载电阻  $R_2$  示意图



#### 结论提示

负载或负载电路存在于整机电路中，或存在于局部电路中，负载在电路中处处存在。



3. 找出识别负载对电路分析的作用

电路分析中，能够识别电路中的负载或负载电路，对电路分析有益，因为负载或负载电路是整个电路的服务重心，抓住重心就是抓住了重点，可以引导电路分析思路的展开，做到有的放矢。前面对手电筒电路的分析就是一个很好的证明。

1.2 初学者感性认识电子技术

本节阅读建议：快速阅读，细心领会，全面了解。

本节难度系数：2 级。

本节记忆系数：4 级。

学习电子技术到底有多难，这里举一例试图从侧面能说清楚是“难”还是“不难”。

★1.2.1 从二分频音箱看电子技术

图 1-11 所示是二分频音箱示意图，日常生活中时常可见到这种音箱。关于二分频音箱，包含了许多知识点，想了解、掌握得越多，学习就越加困难。

1. 知识点综述

对二分频音箱的一般性了解，至少需要知道表 1-1 中所述的内容。

2. 最简单的二分频扬声器电路

图 1-13 所示是最简单的二分频扬声器电路。如果不能掌握这个电路的工作原理，那么对这个电路就无从下手，出了故障也无法进行分析和检修。



一只音箱装有高音扬声器和低音扬声器两只扬声器，称之为二分频音箱，常见音箱都是二分频的

图 1-11 二分频音箱

表 1-1 二分频音箱知识点

| 名称    | 解 析                                                                                                                       |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工作原理  | 声音中的高音成分由高音扬声器重放出来，中音和低音成分由低音扬声器重放出来，高音、中音和低音分别由两只扬声器重放，比单独用一只扬声器重放的音响效果更好                                                |
| 扬声器   | 音箱内设有高音扬声器和低音扬声器，如图 1-12 所示<br>扬声器能够将电信号转换成声音，高音扬声器转换高音的效果更好，低音扬声器转换低音的效果更佳<br>口径小的是高音扬声器，口径大的是低音扬声器，这与扬声器重放不同频率声音时工作特性相关 |
| 二分频电路 | 音箱内的两只扬声器并不是简单地连接在一起的，否则无法高效和良好地工作，必须设有一个叫二分频的扬声器电路，这一电路在不同质量的音箱中复杂程度是不同的                                                 |
| 声学知识  | 音箱的几何形式和用材等对重放音响效果都有很大的影响，这里面的学问很大，同样是二分频音箱，但是价位相差甚远                                                                      |



图 1-12 扬声器

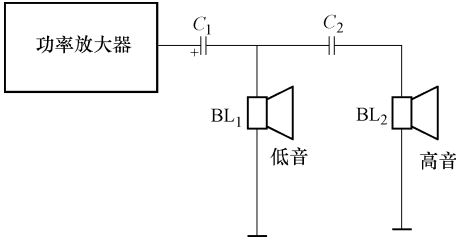


图 1-13 最简单的二分频扬声器电路

## ★1.2.2 初学者尝试分析二分频扬声器电路工作原理



### 试试看电路分析

初学者无法看懂最简单的二分频扬声器电路，当学过功率放大器和二分频扬声器电路之后，这个电路的工作原理就会显得相当简单。

如果没有元器件知识基础和一些电路分析的基本知识，分析这个电路的工作原理就会显得力不从心，甚至无从下手，不信试试，初学者能否看懂下面的电路分析内容。

#### 1. 功率放大器输出音频信号

如图 1-14 所示是音频功率放大器示意图，音频功率放大器输出的音频信号通过输出端耦合电容  $C_1$  加到后面的扬声器电路中。



图 1-14 音频功率放大器示意图



### 相关知识您知道吗?

常见的音频功率放大器放大全频域音频信号，即用一个放大器放大 20 ~ 20000Hz 音频信号，在一些高级的音响系统中则采用更为高级的分频功率放大器系统，如图 1-15 所示，在前置放大器输出接入分频器，将音频信号分成高音、中音和低音三个频段信号，然后再送入各自的功率放大器中放大，再推动各自的扬声器。

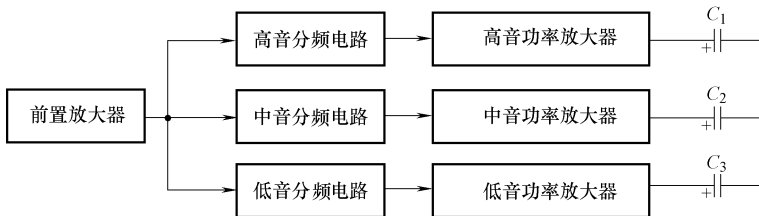


图 1-15 分频功率放大器示意图

#### 2. 输出端耦合电容耦合音频信号

图 1-14 所示的电路中  $C_1$  是音频功率放大器的输出端耦合电容，它根据电容器的基本特性，起着耦合音频信号的作用，即让音频信号无损耗地通过电容  $C_1$ ，同时将音频功率放大器输出端的直流电隔开，不让这一直流电加到扬声器电路中，如图 1-16 所示。

#### 3. 二分频扬声器电路分析

图 1-17 所示是二分频扬声器电路。电路中  $C_1$  是功率放大器输出端耦合电容， $C_2$  是无极性分频电容

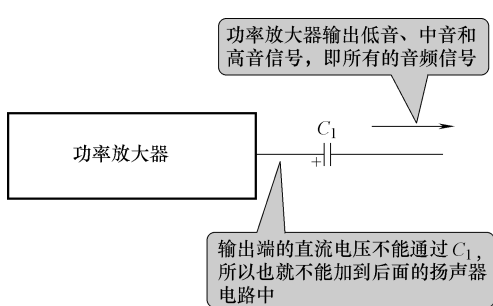


图 1-16 音频功率放大器输出端耦合电容作用示意图

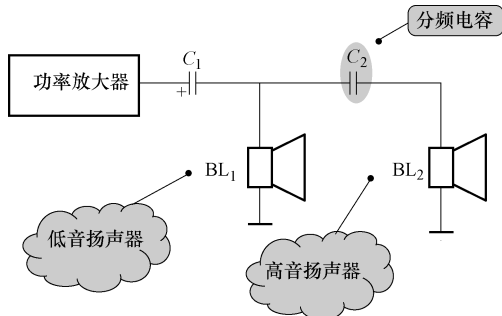


图 1-17 二分频电路中的分频电容

电容。

1) 全频域音频信号。从功率放大器输出端耦合电容  $C_1$  输出的是全频域音频信号，即有低音、中音和高音信号，由于分频电容  $C_2$  的电容量设计合理，它对低音和中音信号的容抗大，这样低音和中音信号不能通过  $C_2$  加到高音扬声器  $BL_2$  中，而只能通过低音扬声器  $BL_1$  重放，图1-18所示是低频信号电流回路示意图。

2) 高音信号传输过程。由于高音的频率比较高， $C_2$  对此频率的容抗小，这样高音信号顺利通过  $C_2$  加到高音扬声器  $BL_2$  中，使高音由高音扬声器来重放，图1-19所示是高频信号电流回路示意图。

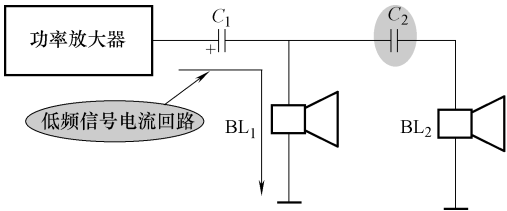


图 1-18 低频信号电流回路示意图

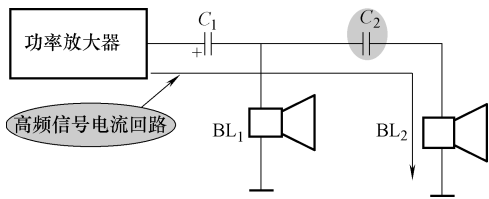


图 1-19 高频信号电流回路示意图

**重要提示**

- 1) 低音扬声器高频特性差。高音信号虽然也能加到低音扬声器上，但是低音扬声器的高频特性不好，所以重放高音主要由高音扬声器  $BL_2$  完成。
- 2) 分频电容为无极性电容。由于从  $C_1$  输出的信号是音频信号（交流信号），而且幅度很大，所以分频电容必须是无极性电解电容，有专门的用于分频电路中的无极性电解电容，如钽电解电容。
- 3) 有极性电解电容在大信号交流电路中无法正常工作，因为交流信号的极性在不断改变。

**友情提示**

通过上述分析，初学者一定会有许多无法理解的地方，这是因为初学者对一些技术名词含义不了解，对电子元器件的基本特性没有掌握，对电子电路的分析方法不熟悉，所以学习电子技术还是有系统性的。

在整个电路过程中，如果有一个知识点“断线”，那整个电路就“满盘皆输”，可见系统性知识的重要性。

在整个电路工作原理分析中，许多细节的分析是深入分析电路工作原理的具体体现。

★1.2.3 二分频扬声器电路故障分析

**重要提示**

电路故障分析是为检修电子电路故障服务的，它是检修电子电路故障的理论基础。同时，通过电路故障分析，还能加深对电路工作原理的理解。但是，电路故障分析的学习是比较难的，它需要深入掌握电路工作原理的基础上才能真正意义上理解电路分析的思路。

1. 电容分频电路故障分析（见表1-2）

表 1-2 电容分频电路的故障分析

| 名称       | 电路故障分析      | 理解方法提示                           |
|----------|-------------|----------------------------------|
| $C_2$ 开路 | 高音扬声器中无任何响声 | 这是因为高音信号的传输回路被中断了,高音信号不能加到高音扬声器中 |





(续)

| 名称          | 电路故障分析           | 理解方法提示                                                                      |
|-------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| $C_2$ 短路    | 高音扬声器声音破,即声音大且难听 | 这是因为低音和高音扬声器直接并联了,低音信号也加到了高音扬声器中,使高音扬声器中的电流很大,破坏了高音扬声器的正常工作                 |
| $C_2$ 漏电    | 高音扬声器音质变差,声音变响   | 一般人会有一个错误的认识:扬声器声音响就是好,其实这是相当错误的,因为要使扬声器声音大些在电路实现上是没有困难的,可是要将音质提高点那是非常困难的事情 |
| $C_2$ 电容量变小 | 高音扬声器声音变小        | 这是因为电容量小了,对高音信号的容抗增大,使流过高音扬声器的高音信号电流减小                                      |

2. 低音扬声器  $BL_1$  电路故障分析 (见表 1-3)

表 1-3 低音扬声器  $BL_1$  电路故障分析

| 名称         | 电路故障分析              | 理解方法提示                                                                |
|------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| $BL_1$ 开路  | 中低音声音消失,整个声音轻       | 这是因为 $BL_1$ 开路后没有中音和低音信号流过 $BL_1$ ,而在整个声音中,中音和低音占了主要功率,所以会感觉声音轻、声音单薄  |
| $BL_1$ 短路  | 整个音箱无声,且会烧坏功放       | 这是因为 $BP_1$ 短路就是功率放大器输出端短路,而这一短路会使功率放大器过电流,如果功率放大器没有过电流保护电路,就会烧坏功率放大器 |
| $BL_1$ 质量差 | 整个声音质量差,特别是中音和低音效果差 | 这是因为中音和低音占了整个声音的主要功率成分,中音和低音声音差破坏了听音感受,听起来感觉整个声音差(不动听)                |

3. 高音扬声器  $BL_2$  电路故障分析 (见表 1-4)

表 1-4 高音扬声器  $BL_2$  电路故障分析

| 名称         | 电路故障分析           | 理解方法提示                                                                          |
|------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| $BL_2$ 开路  | 高音消失,声音不明亮       | 这是因为高音扬声器不能工作,使整个声音中缺少高音分量,声音不亮                                                 |
| $BL_2$ 短路  | 高音消失,同时中音和低音受到影响 | 这是因为 $BL_2$ 短路后,高音扬声器不工作,无高音分量。同时, $BL_2$ 的短路也部分地影响功率放大器电路的输出,从而影响到中音和低音扬声器正常工作 |
| $BL_2$ 质量差 | 高音效果差,也使整个声音效果差  | 这是因为高音扬声器发出来的高音质量差,由于高音和中音、低音在整个声音中是要求平衡的,高音效果差必然影响到整个声音的效果                     |



友情提示

上述电路故障分析您看明白了吗? 没有看明白对初学者来说是逻辑的必然, 因为基础知识太欠缺, 基础知识不全面。咋办? 系统性学习是唯一办法。希望本书能成为您系统学习的伴侣, 零点起步, 一站到底!

★1.2.4 故障修理教你第一招

1. 一个不小的误区

为数众多的学习电路故障检修的初学者都希望有这样一本书, 书中最好能这样告诉读者: 故障 1, 无声, 更换晶体管; 故障 2, 声音轻, 更换集成电路; 故障 3, 无光栅, 更换高压包。

这部分初学者的心声是可以理解的, 可是全然不知这样的书根本写不出来, 就是写出来了对读者也“毫无用处”, 因为电子技术的变化并不是所希望的那样存在简单的一一对应的应果关系, 比如同时一个无声故障的原因, 可能有几十种, 甚至成千上万种的原因, 不同的机器都有不同的元器

件故障原因，如果真的有“牛人”写出了这样的一本“奇”书，那么读者如何去这书中查找所需的答案呢？

2. 故障检修绝招放送

通过这一例故障检修技术讲解，初学者可以从中了解到，故障检修中逻辑思路的建立才是根本之道。

故障举例：二分频音箱中，高音扬声器发声正常，低音扬声器没有声音，根据二分频扬声器电路和逻辑推理可知，低音扬声器损坏或低音扬声器引线回路断线。

重要提示

故障现象与电路功能之间存在着必然的联系，通过简单的检查确定故障现象，运用逻辑理论进行推理就能确定故障的范围。

图 1-20 所示是二分频扬声器电路故障逻辑推理示意图，通过本例可以了解逻辑推理在电路故障检修中的基本原理和思路。

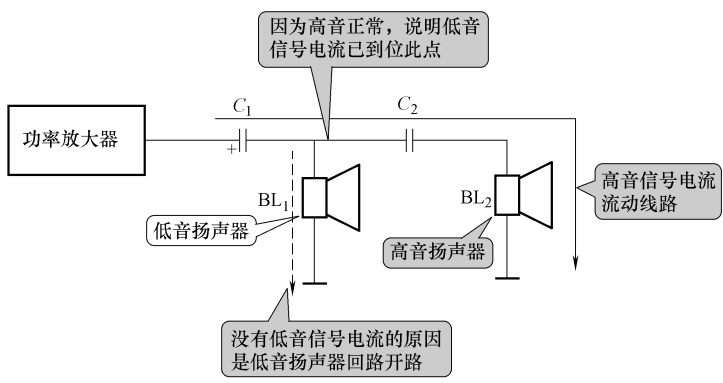


图 1-20 逻辑推理示意图

根据试听结果进行故障推论

根据二分频扬声器电路结构，已知高音扬声器工作正常，可以推理得知功率放大器和电路中的电容  $C_1$ 、 $C_2$  均正常，因为高音信号流过了这些元器件，如果这些元器件存在故障，高音扬声器就不可能工作正常。

重要提示

故障检修中，排除电路中的一些元器件是为了更好地发现故障部位，从上面的二分频扬声器电路中可以看出，低音扬声器无声故障就只能存在于低音扬声器支路中，其原因是没有低音信号电流流过低音扬声器。

任何电路中，没有电流流过只有两个根本性的原因，结合本例就是：

- 1) 功率放大器无输出信号电压，但是本例高音扬声器工作正常，已经说明功率放大器有信号电压输出，所以这不是本例的故障原因所在。
- 2) 低音扬声器回路开路，这是本例的故障原因。



结论提示

本例故障检修中，只是简单地试听了扬声器是否有声，便能根据电路结构和逻辑推理确定故障位置和相对具体的故障部位，显然掌握逻辑推理思想和熟悉电路结构对故障检修非常重要。

1.3

电子技术入门学习内容

本节阅读建议：快速通读，全面了解。

本节难度系数：2 级。

本节记忆系数：5 级。

★1.3.1 电子技术入门学习内容（见表 1-5）

表 1-5 电子技术入门学习内容

| 名称   | 内 容     |                                                            |
|------|---------|------------------------------------------------------------|
| 元器件  | 识别      | 认识元器件(如元器件外形特征识别)                                          |
|      |         | 识别元器件引脚(极性、引脚排列顺序)                                         |
|      |         | 参数表示方法(直标法、色标法、数字字母混标法等)                                   |
|      |         | 型号命名方法                                                     |
|      |         | 识别电路板上元器件                                                  |
|      | 种类      | 元器件的种类非常丰富                                                 |
|      | 电路符号    | 新电路符号                                                      |
|      |         | 旧电路符号                                                      |
|      |         | 非国标电路符号                                                    |
|      |         | 识图信息                                                       |
|      |         | 其他信息(型号、标称值等)                                              |
|      | 结构及工作原理 | 了解元器件结构和工作原理有利于深入掌握元器件知识,特别是一些常用元器件                        |
|      | 重要特性    | 同一种元器件会有许多的重要特性,这是元器件学习中的重点之一                              |
|      | 性能参数    | 直流参数                                                       |
|      |         | 交流参数                                                       |
|      |         | 极限参数                                                       |
|      |         | 其他参数                                                       |
|      | 典型应用电路  | 每一种元器件都有许许多多的应用,典型应用电路是最为常见的应用电路,是学习的重点之一                  |
|      | 检测      | 质量检测(脱开检测、在路检测)                                            |
|      |         | 引脚分辨                                                       |
|      | 选配方法    | 同型号更换                                                      |
|      |         | 异型号代换、直接更换和改动更换                                            |
|      | 更换操作技能  | 更换元器件是故障检修中的常用技能,有些元器件的更换操作比较复杂                            |
| 电路分析 | 功能分析    | 这是对电路功能的分析,在电路中如果能判断出电路功能,对进一步的电路工作分析非常有用                  |
|      | 种类分析    | 同样实现一个电路功能可以有多种形式的电路,电路分析需要了解电路种类                          |
|      | 直流电路分析  | 这是电路分析中的一个重点,特别是放大器电路分析中更需要进行直流电流分析,因为直流电路工作正常与否直接影响电路工作状态 |



(续)

| 名称         | 内 容                                                                             |                                                                                                           |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 电路分析       | 交流电路分析                                                                          | 信号传输分析                                                                                                    |
|            |                                                                                 | 频率分析                                                                                                      |
|            |                                                                                 | 时点分析                                                                                                      |
|            |                                                                                 | 相位分析                                                                                                      |
|            |                                                                                 | 条件分析                                                                                                      |
|            | 元器件作用分析                                                                         | 这是电路工作原理分析中的重点之一,在故障检修中这一分析更为重要                                                                           |
|            | 等效分析                                                                            | 等效分析是一种更为容易接受的电路分析方法                                                                                      |
|            | 电路故障分析                                                                          | 这是直接为电路故障检修服务的电路分析,在所有电路分析中最难                                                                             |
| 同类功能电路分析   | 这是一种扩展性的电路分析,即分析同功能不同类型电路,例如 LED 驱动电路,它的种类很多,具体电路更多,如果只掌握一种 LED 驱动电路工作原理还是远远不够的 |                                                                                                           |
|            | 整机电路分析                                                                          | 这是对一个整机电路工作原理的分析,它需要有全面而系统的电路分析能力,否则很难完整地<br>对一个整机电路工作原理进行分析<br>整机电路往往由许多系统电路组成,如电源系统电路、放大系统电路、控制和操作系统电路等 |
| 动手技能       | 工具操作                                                                            | 各种通用工具和专用工具的使用方法和操作技能                                                                                     |
|            | 专用材料知识                                                                          | 运用这些专用材料有助于电路故障检修、处理,如清洗液可以消除一些接触不良故障                                                                     |
|            | 焊接技术                                                                            | 这是动手操作中最为常用的技能,也是保证电路板焊接质量的关键之一                                                                           |
|            | 拆装技术                                                                            | 检修过程中需要拆装各种电路板、机壳等                                                                                        |
|            | 检测仪器仪表操作                                                                        | 万用表操作方法                                                                                                   |
|            |                                                                                 | 常用仪器仪表操作方法                                                                                                |
| 专用仪器仪表操作方法 |                                                                                 |                                                                                                           |
| 修理理论       | 检查方法                                                                            | 用来检查各种故障的方法,有 20 多种                                                                                       |
|            | 故障发生规律                                                                          | 故障发生是有一定规律的,掌握这些规律对故障检修是有益的                                                                               |
|            | 故障机理                                                                            | 每一种故障的产生原因都有其机理,掌握这方面知识可以方便和准确地判断故障原因                                                                     |
|            | 逻辑判断                                                                            | 根据逻辑学原理,通过故障现象和逻辑判断,可以判断故障范围,甚至可以直接寻找到故障部位                                                                |
|            | 故障处理对策                                                                          | 对各种故障都有一套处理方法和操作技能                                                                                        |
|            | 修理经验                                                                            | 修理经验在实践中不断积累,可以学习别人的经验,也可以通过自己的实践得到                                                                       |
| 综合能力       | 电路调试技术                                                                          | 电路故障检修或是新产品设计过程中都需要对电路进行调试                                                                                |
|            | 识别电路板上元器件                                                                       | 故障检修中需要在电路中找到某个元器件,在寻找电路板上元器件过程有许多好的方法和技巧                                                                 |
|            | 根据电路板画电路原理图                                                                     | 在测绘电路板上电路时,需要根据电路板上元器件和印制电路画出电路图,画图过程中也有许多方法和技巧                                                           |
|            | 同功能不同形式电路分析                                                                     | 这是电路中分析比较困难的,也是学习电子技术的一个重要方面                                                                              |
|            | 资料支持能力                                                                          | 收集资料、分析资料能力很重要,特别是在故障检修和电路设计中                                                                             |
|            | 电路设计                                                                            | 根据电路功能要求,设计具体电路                                                                                           |

**重要提示**

上述学习内容看起来非常复杂、庞大,但是深入其中会发现许多方面是相通的。



★1.3.2 电子元器件知识学习内容

学好电子技术，打好扎实的基础知识是必需的，初学者在学习之初能够了解所学内容，学习就会心中有数，有的放矢。



一件真实事情的启示

有位大四的学生在网络中曾这样表达了他的学习感受，大意是：几年的电子技术学习过程如同夜间行走在一条没有路灯的大街上，不知道这条街通往何处，也没办法看到大街两旁的风景。

这种感受显然是对电子技术没有一个整体了解，是在为了学习而学习，是为了应付学业而学习，或是为了对付考试而学习，整体上讲，存在这样感受的同学为数不少，只是这位同学生动而形象地表达出来了。

显然，我们如果在学习一门课程前对所学内容有一个初步了解，对学习是有益的。

1. 电子元器件知识学习要求说明（见表 1-6）

表 1-6 电子元器件知识学习要求说明

| 名称   | 说 明                                                                                                                                              |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 识别   | 认识元器件(如元器件外形特征识别)<br>重要提示:如果学习电子技术连电子元器件长得啥样都不清楚,试问这个电子技术如何去学好呢,很显然学习的第一步是去了解电子元器件的外形特征<br>这部分知识要求掌握                                             |
|      | 识别元器件引脚(极性,引脚排列顺序)<br>重要提示:一个元器件至少有两根引脚,有的元器件会有数十根引脚,要了解这些引脚的具体作用,掌握多引脚元器件的引脚分布规律,以便方便而轻松地识别各引脚作用。识别元器件引脚无论是对分析电路工作原理还是对检修电路故障均非常重要<br>这部分知识要求掌握 |
|      | 参数表示方法(直标法、色标法、数字字母混标法等)<br>重要提示:这是非常重要的知识,许多元器件都有标称值,也会有多种方法来表示,只有掌握了这些方法才能认识这些元器件的标称值,才会在电路的分析、设计和故障检修中加以运用<br>这部分知识要求掌握                       |
|      | 型号命名方法<br>重要提示:电子元器件都有一套命名方法,在更换元器件,或是进行电路设计时,都需要通过元器件型号在元器件手册中查找相关技术参数,例如晶体管、集成电路等<br>这部分知识要求了解                                                 |
|      | 识别电路板上元器件<br>重要提示:这一步的元器件识别最为困难,需要有较扎实的元器件知识和电路知识基础,还需要运用许多技巧<br>这部分知识要求掌握                                                                       |
| 种类   | 元器件的种类非常丰富<br>重要提示:每一种元器件都有许多品种,有的还非常丰富,这方面知识需要了解,以供电路设计时进行选择。对于自己专业领域的专用元器件种类需要深入掌握                                                             |
| 电路符号 | 新电路符号(包括图形符号和文字符号)<br>重要提示:元器件在电路图中用一种图形符号来表示,显然不认识这种符号就无法分析电路工作原理。各种电子元器件都有与它们一一相对应的电路符号,且这些电路符号中还能读出有用的识图信息<br>这部分知识要深入而全面地掌握                  |





(续)

| 名称      | 说 明                                                                                                                                                                                                             |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 电路符号    | <p>旧电路符号</p> <p>重要提示:一些电子元器件会有多种电路符号,过去使用的电路符号就是旧符号,因为一些老的电路图中还会采用这些旧符号,所以对这方面知识还是需要了解的</p>                                                                                                                     |
|         | <p>非国标电路符号</p> <p>重要提示:对于新的电子元器件,在国家标准没有出来之前,会采用非国标电路符号,如生产厂家所使用的电路符号</p>                                                                                                                                       |
|         | <p>识图信息解读</p> <p>重要提示:许多的电子元器件电路符号图形中都表达了一定的具体含义,了解这些含义对分析电路工作是有帮助的</p> <p>这部分知识要深入掌握</p>                                                                                                                       |
|         | <p>其他信息(型号、标称值等)</p> <p>重要提示:电路图中的元器件符号旁边会标出该元器件的型号,或是标称值,它进一步说明了该元器件的一些情况,必须学会这些信息的识别</p>                                                                                                                      |
| 结构及工作原理 | <p>了解元器件结构和工作原理有利于深入掌握元器件知识,有益于记忆,特别是一些常用元器件</p> <p>重要提示:如果能够了解元器件的结构和工作原理,对掌握该元器件特性是非常有益的,可以从底层了解更多的该元器件的知识,掌握得更为牢固</p> <p>这部分知识要掌握或了解</p>                                                                     |
| 重要特性    | <p>同一种元器件会有许多的重要特性,这是元器件学习中的重点之一</p> <p>重要提示:这是学习元器件知识最为重要的部分,在电路分析和电路设计时都需要这方面知识作为支撑,必须高度重视</p> <p>元器件的重要特性还包括主要特性曲线、等效电路等</p> <p>这部分知识必须深入和系统地掌握</p>                                                          |
| 性能参数    | <p>直流参数</p> <p>重要提示:这是只考虑加入直流工作电压后,不考虑加入信号情况下的元器件参数,直流参数会有许多具体的项目</p> <p>这部分知识需要了解</p>                                                                                                                          |
|         | <p>交流参数</p> <p>重要提示:这是加入规定的直流工作电压,且加入规定大小信号情况下的元器件参数,交流参数也会有许多项目</p> <p>这部分知识需要了解</p>                                                                                                                           |
|         | <p>极限参数</p> <p>重要提示:这是给元器件规定最为“危险”的工作条件,如果实际工作中超过这个极限参数,元器件就会损坏</p> <p>这部分知识需要了解</p>                                                                                                                            |
|         | <p>其他参数</p> <p>重要提示:一些元器件会有一些特定的参数</p> <p>这部分知识需要了解</p>                                                                                                                                                         |
| 典型应用电路  | <p>每一个种元器件都有许许多多的应用,典型应用电路是最为常见的应用电路,是学习的重点之一。通过典型应用电路学习,可以举一反三,以点带面</p> <p>重要提示:这是学习元器件知识另一个重要内容,一个元器件的具体应用电路会有许许多多,但是通常它会有一个典型的应用电路,这个典型应用电路通常是生产厂家提供的,具体的应用电路会在这一电路基础上作相应的变化</p> <p>需要深入掌握元器件的典型应用电路工作原理</p> |



(续)

| 名称     | 说 明                                                                                                                             |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 检测     | 质量检测(脱离检测、在路检测)<br>重要提示:对元器件的质量检测是电路故障处理中必不可少的一环,分为元器件脱离电路后的检测和元器件在电路中的检测,其中后者还分通电检测和断电检测两种。这是学习元器件检测方法最为核心的内容<br>这部分知识需要深层次掌握  |
|        | 引脚分辨<br>重要提示:元器件的引脚除可以通过引脚分布规律识别外,许多元器件的引脚还可以通过万用表的检测来进行识别,这也是实际操作中时常采用的方法<br>这方面知识要求掌握                                         |
| 选配方法   | 同型号更换<br>重要提示:元器件损坏后的更换最好是同型号的,否则会有一些新问题出现                                                                                      |
|        | 异型号代换,直接更换和改动更换<br>重要提示:当无法找到同型号元器件进行更换时,在一些情况下,可以进行异型号的更换,这时可能需要包括改动电路在内的一些辅助措施                                                |
| 更换操作技能 | 更换元器件是故障检修中的常用技能,有些元器件的更换操作比较复杂<br>重要提示:对于引脚比较少的元器件进行更换操作是不困难的,如果引脚很多,则需要有专门的工具和操作方法。另外,有些元器件的焊接还有特殊要求,否则会损坏元器件<br>这方面知识需要了解或掌握 |

2. 综合能力培养

对元器件学习除上述内容外,在后期还需要一些综合能力的培养。

- 1) 根据电路板画电路原理图。在测绘电路板上电路时,需要根据电路板上元器件和印制电路画出电路图,画图过程中也有许多方法和技巧。
- 2) 识别电路板上元器件。故障检修等需要在电路中找到某个元器件,在寻找电路板上的元器件有许多好的方法和技巧。
- 3) 资料支持能力。收集资料、分析资料能力很重要,特别是在故障检修和电路设计中。

★1.3.3 识别电子元器件



重要提示

元器件知识学习的3大板块是:识别、特性掌握和检测。

识别元器件是第一要素,如果面对电路板上众多形状“怪异”的电子元器件不认识,面对电路图中的各种电路符号不熟悉,那就无法识图和检修。

1. 电子元器件5项识别内容说明(见表1-7)

表 1-7 电子元器件5项识别内容说明

| 名称   | 说明                                                        | 示意图 |
|------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 外形识别 | 通过外形识别认识各种电子元器件“长”得啥模样,以便与电路图中的该电子元器件电路符号相对应,如图所示是晶体管实物照片 |     |



(续)

| 名称        | 说明                                                                                                                | 示意图 |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 电路板上元器件识别 | 故障检修中,需要根据电路图建立逻辑检修电路,在电路板上寻找所需检查的电子元器件,这时的元器件识别是在修理过程中的识别,对初学者而言困难很大,但是却非常重要,如图中是电阻器、电容器和晶体管等元器件                 |     |
| 电路符号识别    | 电路图中每种电子元器件都有一个对应的电路符号,电路符号相当于电子元器件在电路图中的代号,如图所示是电容器的电路符号                                                         |     |
| 引脚极性和引脚识别 | 电子元器件至少有两根引脚,有的电子元器件多于两根引脚,每根引脚有特定的作用,相互之间不能代替,必须对各引脚加以识别,如图所示是集成电路,它有很多引脚<br>有的元器件这两根引脚有正、负极性之分,此时也需要进行正极和负极引脚识别 |     |
| 型号和参数识别   | 每个元器件都它的标称参数,如电阻器的阻值多大、误差是多少等,元器件是什么型号的。如图所示是3DD15C大功率晶体管                                                         |     |



方法提示

对某个具体的电子元器件识别主要有5项内容,其识别步骤分成5步:外形特征识别→电路符号识别与实物对应→引脚识别和引脚极性识别→型号和参数识别→识别电路板上元器件。

电子元器件有数百个大类,上千个品种,从电子元器件具体外形特征角度来讲更是千姿百态,新型元器件又层出不穷,所以电子元器件识别任务繁重,对初学者而言困难重重。但是,主要识别几十种常用电子元器件即可入门,待确定了自己的工作和研究方向、领域后再进一步学习专业元器件知识。

2. 元器件外形识别方法

电子元器件外形识别就是实物与名称对应,其目的是拿到一种电子元器件能知道它是什么元器件,知道它的电路符号。

图1-21所示是3种电子元器件实物图。快速识别电子元器件外形可以通过下列几种循序渐进的方法。



a) 大功率晶体管



b) 电解电容



c) 石英晶体振荡器

图1-21 3种电子元器件实物图

 方法提示

最有效的元器件识别方法是走进一家电子元器件专卖店，店内琳琅满目的电子元器件可以“大饱眼福”。通常电子元器件按类放置，各种电子元器件旁边都标有它们的名称，实物与名称快速而且方便地对应，感性认识很强，这样的视觉信息输入具有学习效率高、信息量大的优点，过了若干年还记忆犹新。

对于初学者，要走进电子元器件专卖店进行实践活动，这种实践活动收获很大。

### 3. 电路符号识别信息

理解电路符号中的识别信息，有助于对电路符号的记忆，对电路工作原理分析也十分有益。

关于识别电子元器件电路符号主要说明下列几点：

1) 电子元器件的电路符号中含有不少电路分析中所需要的识图信息，最基本的识图信息是通过电路符号了解该元器件有几根引脚，如果引脚有正、负极性之分，在电路符号中也会有各种表达方式。

2) 元器件电路符号具有形象化的特点，电路符号的每一个笔画或符号都表达了特定的识图信息。

3) 电路符号中的文字符号很多是该元器件英语单词的第一个字母，如变压器用 T 表示，它是英语 Transformer 的第一个字母。如果懂专业英语也有助于识别电路图电路符号，这对一些电路的识图非常有益。

4) 一些元器件的电路符号还能表示该元器件的结构和特性。

### 4. 引脚识别和引脚极性识别方法

许多电子元器件的引脚有极性，各个引脚之间是不能相互代用的，这时就要通过电路符号或元器件实物进行引脚的识别和引脚极性的识别。

 重要提示

引脚极性识别和引脚识别方法有两种情况：一是电路符号中的识别；二是电子元器件实物识别。

### 5. 从电路板上识别元器件

这一步的元器件识别最为困难，需要有较扎实的元器件知识和电路知识基础，还需要运用许多的技巧。

## ★1.3.4 掌握元器件主要特性

 重要提示

了解元器件结构和基本工作原理，掌握电子元器件的特性是分析电路工作原理的关键要素，不能掌握电子元器件的主要特性，电路分析就寸步难行。同时，掌握元器件特性有助于用万用表检测电子元器件质量，还可以帮助记忆，易于掌握。

### 1. 了解元器件基本结构

如果不能了解元器件的结构，就不知道元器件外壳内部装有什么，基础知识不扎实，会影响进一步的深入学习，影响对元器件知识的全面掌握。

 方法提示

学习电子元器件知识需要循序渐进，了解元器件结构有助于理解该元器件工作原理，进而可以学习元器件的主要特性，运用这些特性分析电路中元器件的工作原理，这其中的知识链是一环扣一



环的，如果知识掌握得不系统、不扎实，往往就是因为在知识链中脱了一环。

## 2. 了解元器件基本工作原理

每种电子元器件的工作原理都需要了解，有些常用、重要元器件的工作原理则需要深入了解，为掌握元器件的主要特性打下基础。

例如，掌握了电容器的工作原理才能深刻地理解电容器的隔直流作用和交流电流能够通过电容的机理。

## 3. 掌握电子元器件主要特性

从分析电路工作原理角度出发，掌握电子元器件的主要特性非常重要，初学者务必掌握元器件的主要特性。

1) 在学习元器件特性时要注意一点，每一种元器件可能有多个重要的特性，要全面掌握元器件的这些主要特性。如何灵活、正确运用元器件的这些特性是电路分析中的关键点和难点。

2) 学习电子元器件的特性并不困难，困难的是学会灵活运用这些特性去解释、理解电路的工作原理。同一个元器件可以构成不同的应用电路，当该元器件与其他不同类型元器件组合使用时，又需要运用不同的特性去理解电路工作原理。



### 重要提示

电路分析中，熟练掌握电子元器件主要特性是关键因素，对电路工作原理分析无从下手的重要原因之一是没有真正掌握电子元器件的主要特性。

## ★1.3.5 元器件是故障检修关键要素

掌握元器件检测技术是修理电器故障的关键要素之一。

### 1. 检测元器件 5 种方法

对元器件故障处理共有 5 种手段和方法：

1) 质量检测。通常运用万用表等简单测试仪器进行元器件的质量检测，分为在路检测和脱开检测两种方法。

2) 故障修理。一部分元器件的某些故障是可以通过修理使之恢复正常功能的。

3) 调整技术。一些元器件或机械零部件通过必要的调整可以使之恢复正常工作，主要是机械零部件可以通过相关项目调整，使之恢复正常功能。

4) 选配原则。元器件损坏后必须进行更换，更换最理想的方法是用同型号、同规格元器件直接更换，但是在许多情况下，因为没有原配元器件，则需要通过选配来完成。

5) 更换操作方法。更换元器件的操作有的是相当方便的，有的则是非常的困难，例如，引脚很多的四列集成电路更换起来就很不方便。

### 2. 元器件检测技术

电子元器件检测技术通常是指使用万用表对其进行质量的检查，关于电子元器件检测技术主要说明下列几点：

1) 对元器件的质量检测有时非常准确、彻底，但由于万用表的测量功能有限，有时对电子元器件的检测却是很粗略的。不同的元器件或测量同一种元器件的不同特性时，测量的效果会不同。

2) 使用万用表检测电子元器件主要是测量两根引脚之间的阻值，通过测量阻值进行元器件的质量判断。

3) 元器件质量检测分为两种情况：一是在路检测，即元器件装在电路板上进行直接测量，这种检测方法比较方便，不必拆下电路板上的元器件，测量结果有时不准确，易受电路板上其他元器件影响；二是脱开电路板后的测量，测量结果相对准确。



### 3. 元器件修理技术

元器件损坏后最理想情况是更换为新件，但是在下列几种情况下可以采用修理方法恢复元器件的正常功能：

- 1) 有些元器件修理起来相当方便，而且修理后的使用效果良好，例如音量电位器的转动噪声大这个故障，通过简单地使用纯酒精清洗可以恢复电位器的正常使用功能。
- 2) 一些价格贵的元器件，或是市面上难以配到的元器件，要通过修理恢复其功能。
- 3) 对于机械零部件，有许多故障可以通过修理恢复其功能，例如卡座上的机心。

### 4. 元器件调整技术

关于元器件调整技术主要说明下列几点：

- 1) 电路故障中元器件故障占据了主要成分，但是也有一部分故障属于元器件调整不当所致，这时通过调整可以解决问题。
- 2) 可以调整的元器件主要是标称值可调节的元器件，例如，可变电阻器、微调电感器、微调电容器，还有机械类零部件。

### 5. 元器件选配原则

更换元器件时选用同型号、同规格元器件是首选方案。元器件选配原则说明下列几点：

- 1) 无法实现同型号、同规格时采用选配方法，不同的元器件、用于不同场合的元器件，其选配原则有所不同。
- 2) 元器件总的选配原则是满足电路的主要使用要求。例如，对于整流二极管主要满足整流电流和反向耐压两项要求；对于滤波电容主要满足耐压和电容量两项要求。



#### 重要提示

元器件更换过程中需要注意下列几点：

- 1) 大多数元器件并不“娇气”，拆卸和装配过程中不要“野蛮”操作即可，但是有一些元器件对拆卸和装配有特殊要求，有的还需要专用设备。
- 2) 发光二极管怕烫，互补金属氧化物半导体（COMS）器件怕漏电，在更换中都要采取相应的防范措施。
- 3) 拆卸和装配过程中很容易损坏电路板上的铜箔线路，防止铜箔线路长时间受热是重要环节。

## 1.4

## 详细解读常用元器件电路符号中识图信息

本节阅读建议：全力精读，力图掌握。

本节难度系数：3级。

本节记忆系数：8级。



#### 重要提示

电阻器、电感器、电容器这类无需直流电压就能工作的元件称为无源电子元件，二极管、晶体管、集成电路这类必须加上直流电压才能工作的器件称为有源器件，元件和器件总和称为电子器件。

### ★1.4.1 元器件电路符号识图信息作用

理解元器件电路符号中的识别信息，有助于对电路符号的记忆，对电路工作原理分析也十分有益。关于识别电子元器件电路符号主要说明下列几点：

- 1) 电子元器件的电路符号中含有不少电路分析中所需要的识图信息，最基本的识图信息是通过电路符号了解该元器件有几根引脚，如果引脚有正、负极性之分，在电路符号中也会有各种表达方式。
- 2) 元器件电路符号具有形象化的特点，电路符号的每一个笔画或符号都表达了特定的识图信息。
- 3) 电路符号中的文字符号很多是该元器件英语单词的第一个字母，如变压器用 T 表示，它是英语 Transformer 的第一个字母。如果懂专业英语也有助于识别电路图上的电路符号，这对一些电路的识图非常有益。
- 4) 一些元器件的电路符号还能表示该元器件的结构和特性。

★1.4.2 电阻器电路符号识图信息

1. 电阻器电路符号

图 1-22 所示是图解电阻器电路符号示意图。

2. 电阻器电路符号识图信息解读

图 1-23 是电路中电阻器电路符号标注细节示意图。掌握 6 点：

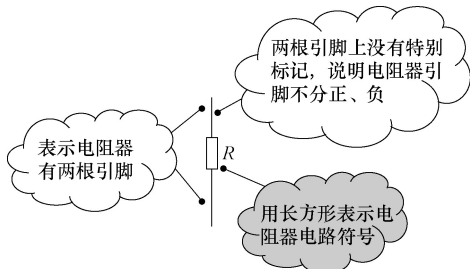


图 1-22 电阻器电路符号识图信息

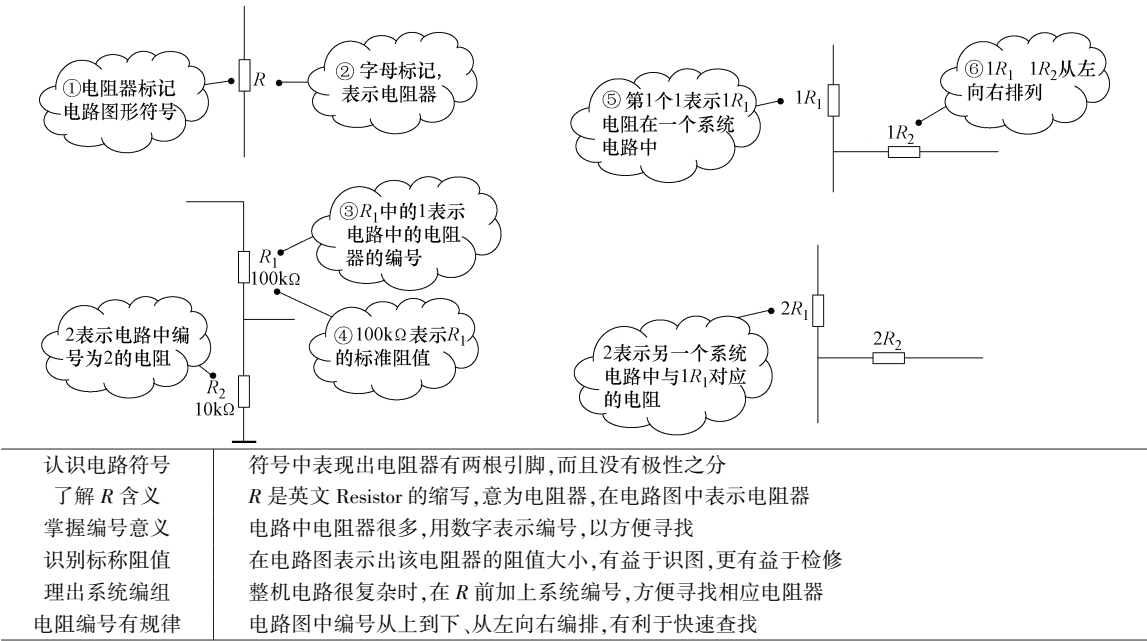


图 1-23 电阻器电路符号标注细节示意图

3. 实用电路图中电阻电路符号

图 1-24 所示是一个实用电路，电路中的功放电路就是功率放大器电路的简称， $R_1$  是限流保护电阻，它用来防止因为流过扬声器  $EL_1$  的电流太大而烧坏扬声器。

★1.4.3 可变电阻器电路符号识图信息

1. 可变电阻器电路符号识图信息解读

图 1-25 所示是可变电阻器电路符号识图信息示意图。它是在普通电阻器电路符号的基础上变化而来，其变化反映了可变电阻器阻值可变的特征。

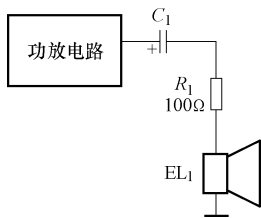


图 1-24 电阻应用实例示意图

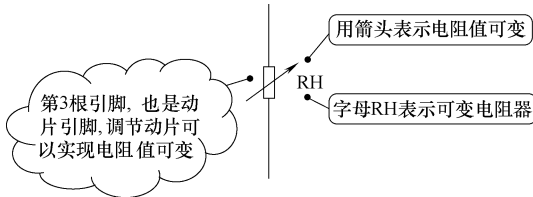


图 1-25 可变电阻器电路符号识图信息示意图

### 2. 另一种可变电阻器电路符号识图信息解读

图 1-26 所示是另一种更为形象的可变电阻器电路符号。同一种电子元器件可能会有多种电路符号表示形式, 有的为标准符号, 或称为推荐电路符号, 有的是厂标符号。

### 3. 实用电路中可变电阻器电路符号

图 1-27 所示是可变电阻器应用电路举例。电路中的  $RH_1$  是可变电阻器。

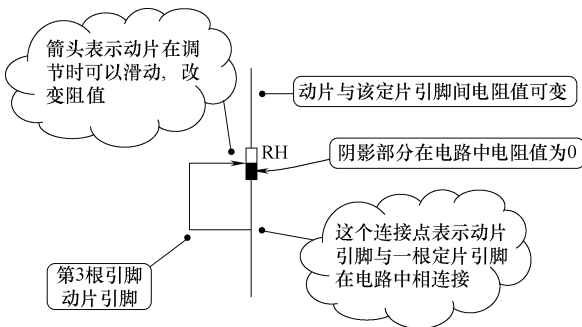


图 1-26 另一种更为形象的可变电阻器电路符号

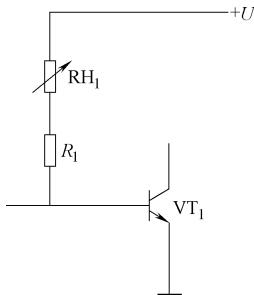


图 1-27 可变电阻器应用电路

## ★1.4.4 电位器电路符号识图信息

### 1. 电位器电路符号识图信息解读

图 1-28 所示是图解电位器电路符号识图信息解读示意图。

### 2. 实用电路中电位器电路符号

图 1-29 所示是音量控制器电路, 电路中的  $RP_1$  是音量电位器电路符号。

## ★1.4.5 电容器电路符号识图信息

### 1. 电容器电路符号识图信息解读

电容器电路符号能够简单地表明电容器的基本结构, 也有许多对分析电容器电路有用的识图信息。图 1-30 所示是图解电容器电路符号示意图。

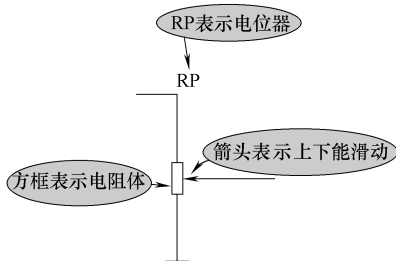


图 1-28 电位器电路符号识图信息示意图

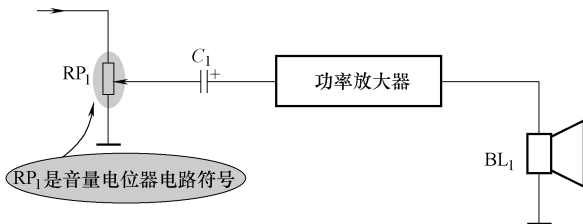


图 1-29 音量控制器电路

2. 实用电路中电容器电路符号

图 1-31 所示是电容器电路举例示意图。电路中的  $C_1$  是耦合电容器，由于它处于两级放大器之间，所以称为级间耦合电容器。

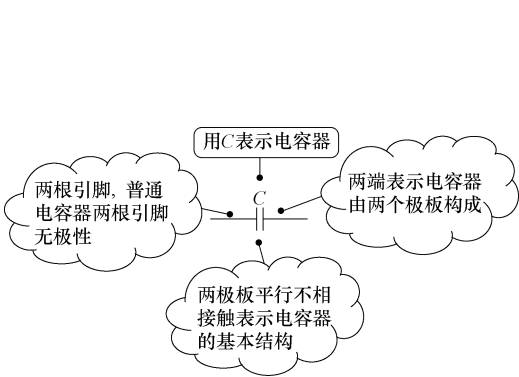


图 1-30 图解电容器电路符号

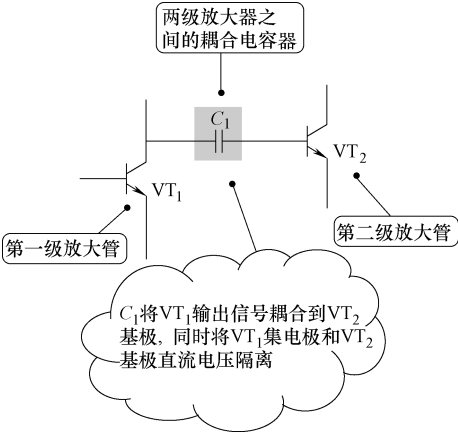


图 1-31 两级放大器电路

★1.4.6 可变电容器和微调电容器电路符号识图信息

1. 双联可变电容器电路符号识图信息解读

图 1-32 所示是图解双联可变电容器电路符号识图信息示意图。双联可变电容器电路符号是在普通电容器电路符号基础上，采用虚线连接两个单联可变电容器而构成的，并用箭头表示电容器容量可变。 $C_{1-1}$  和  $C_{1-2}$  分别是两个单联可变电容器，用虚线连接在一起表示了它们之间的电容量同步变化（双联电位器电路符号中也是用这种虚线方式表示两个单联电位器阻值同步变化）。

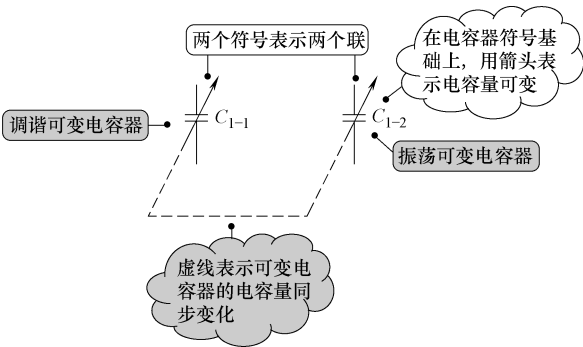


图 1-32 双联可变电容器电路符号识图信息

2. 四联可变电容器电路符号识图信息解读

图 1-33 所示是图解四联可变电容器电路符号识图信息示意图。虚线将 4 个单联变电容器连接在一起，表示 4 个单联变电容器的电容量同步变化。

3. 微调电容器电路符号识图信息解读

图 1-34 所示是微调电容器电路符号识图信息示意图，电路符号中不用箭头，以便与可变电容器的电路符号加以区别。

★1.4.7 电感器电路符号识图信息

1. 电感器电路符号识图信息解读

图 1-35 所示是图解电感器电路符号识图信息示意图，透过电感器电路符号可以了解与识图相关的信息，有益于分析电感器电路。

2. 实用电路中电感器电路符号

图 1-36 所示是实用电感器电路， $L_1$  是高频抗干扰电感器。

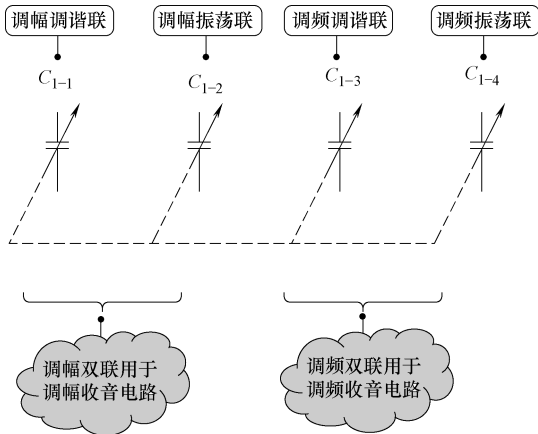


图 1-33 四联可变电容器电路符号识图信息示意图

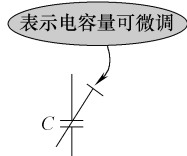


图 1-34 微调电容器电路符号识图信息示意图

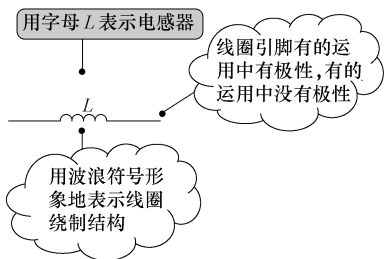


图 1-35 图解电感器电路符号识图信息示意图

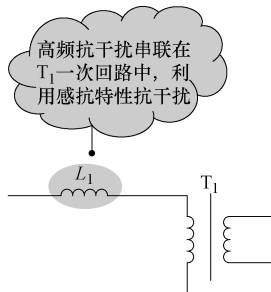


图 1-36 实用电感器电路

### 3. 电感器电路符号的其他识图信息解读

电感器种类较多,不同类型的电感器其具体的电路符号有所不同,电感器电路符号还能形象地表示电感器的结构情况。图 1-37 所示是多种电感器电路符号识图信息示意图,通过图解阅读可以了解许多有用的电感电路识图信息。

#### ★1.4.8 变压器电路符号识图信息

##### 1. 变压器电路符号识图信息解读

图 1-38 所示是变压器电路符号识图信息示意图。根据变压器电路符号可以得到一些识图信息:有无铁心,一次和二次线圈有无抽头,二次绕组有几组,有的还能看出变压器是否带有屏蔽外壳[如中频变压器(简称为中周)]等。

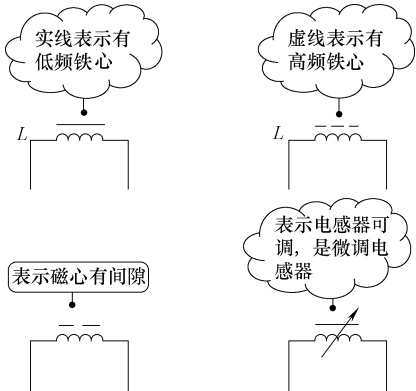


图 1-37 多种电感器电路符号识图信息示意图

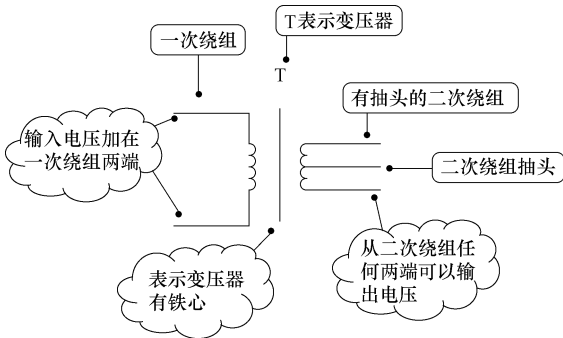


图 1-38 变压器电路符号识图信息示意图



## 2. 实用电路中变压器电路符号

图 1-39 所示是电容高频抗干扰电路。电路中， $T_1$  是电源变压器。

### ★1.4.9 二极管电路符号识图信息

#### 1. 普通二极管电路符号识图信息解读

图 1-40 所示是图解普通二极管电路符号信息示意图。电路符号中表示了二极管两根引脚极性，指示了流过二极管的电流方向，这些识图信息对分析二极管电路有着重要作用，例如电流方向表明了只有当电路中二极管正极电压高于负极电压时，才有电流流过二极管，否则二极管无电流流过。

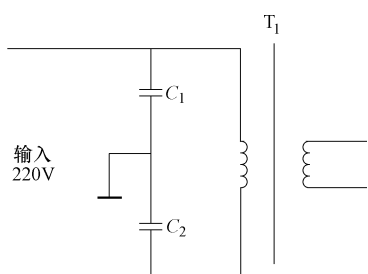


图 1-39 电容高频抗干扰电路

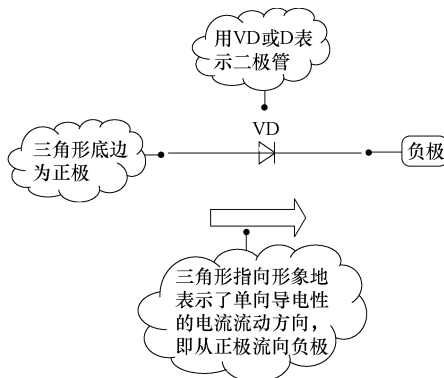


图 1-40 图解普通二极管电路符号

#### 2. 发光二极管电路符号识图信息解读

图 1-41 所示是发光二极管电路符号图解示意图，它在普通二极管符号基础上，用箭头形象地表示了这种二极管在导通后能够发光。

#### 3. 光敏二极管电路符号识图信息解读

图 1-42 所示是光敏二极管电路符号图解示意图，电路符号中的箭头方向是指向管子的，它表示受光线照射时二极管反向电流会增大，反向电流的大小受控制于光线强弱控制。

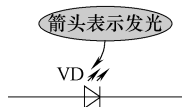


图 1-41 发光二极管电路符号图解示意图

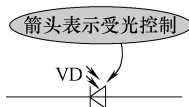


图 1-42 光敏二极管电路符号图解示意图

### ★1.4.10 晶体管电路符号识图信息



#### 重要提示

晶体管种类虽然很多，但是只有 PNP 型和 NPN 型两大类，这两类晶体管各电极电流方向不同，其电路符号也是不同的。

晶体管电路符号中发射极箭头的方向表示晶体管各电极电流流动的方向，利用这一点可以方便分析电路中各电极电流流动方向。

掌握各电极的电流流动方向对分析晶体管电路十分重要，特别是对晶体管直流电路的分析和故障检修。

1) NPN 型晶体管。图 1-43 所示是 NPN 型晶体管电路符号指示电流方向信息示意图，根据发射极箭头方向可以知道不同极性 NPN 型晶体管的集电极、发射极之间电流流动方向。

2) PNP 型晶体管。图 1-44 所示是 PNP 型晶体管电路符号指示电流方向信息示意图，根据发射极箭头方向可以知道不同极性 PNP 型晶体管的集电极、发射极之间电流流动方向。

3) NPN 型晶体管基极电流方向。图 1-45 所示是 NPN 型晶体管基极电流方向信息判断示意图。

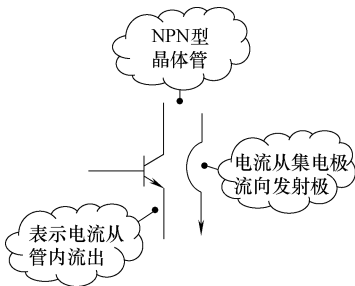


图 1-43 NPN 型晶体管电路符号指示电流方向信息示意图

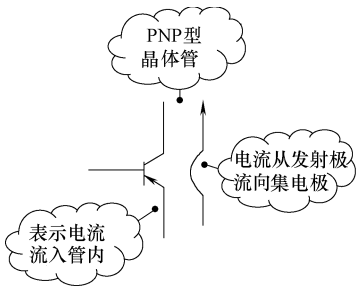


图 1-44 PNP 型晶体管电路符号指示电流方向信息示意图

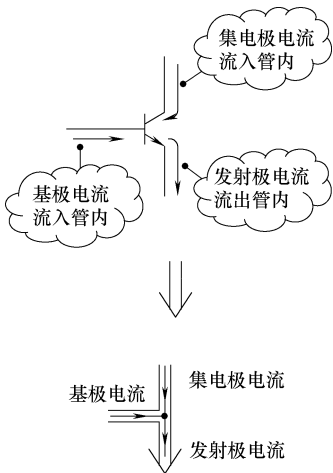


图 1-45 NPN 型晶体管基极电流方向信息判断示意图

借助于电路符号中发射极箭头方向，可以方便地记忆 3 个电流的流动方向。  
对于 NPN 型晶体管而言，发射极箭头朝外，所以，NPN 型晶体管的发射极电流是从管内流向管外的。

**重要提示**

综上所述，先根据电路符号，看出晶体管发射极电流的流动方向，便可以推出集电极和基极电流的方向。

4) PNP 型晶体管基极电流方向。图 1-46 所示是 PNP 型晶体管基极电流方向信息判断示意图。  
PNP 型晶体管的发射极电流流入晶体管，这样集电极和基极应该流出晶体管。

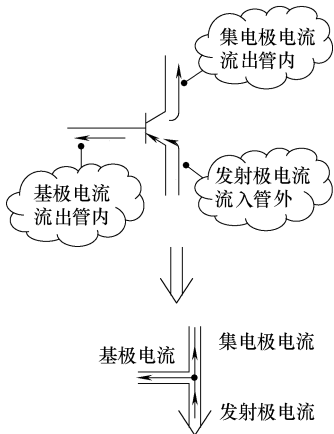


图 1-46 PNP 型晶体管基极电流方向信息判断示意图

阅读完成时间：\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日，用时\_\_天。

签 名：\_\_\_\_\_

阅读体会：（请写 10 个收获最大的知识点关键词）

阅读困惑：（请写 10 个最难理解的知识点关键词）

## 快速博览数百种电子元器件

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！

本章阅读建议：快速阅读，努力将元器件实物与名称一一对应，使用过程中时常查询。

本章难度系数：1 级。

本章记忆系数：5 级。



### 重要提示

认识元器件实物是学习元器件的第一步，了解它们才能用好它们。

### 2.1

## 快速博览电阻类元器件

### ★2.1.1 快速博览普通电阻器

#### 1. 碳膜电阻器

如图 2-1 所示是碳膜电阻器实物图，它在目前电子电路中使用量最大，价格最便宜，品质稳定性信赖度高，稳定性高，噪声小，应用广泛。阻值范围： $1\Omega \sim 10M\Omega$ 。

#### 2. 合成碳膜电阻器

如图 2-2 所示是合成碳膜电阻器实物图，它是将碳黑、石墨、填充料与有机黏合剂配成悬浮液，将其涂覆于绝缘骨架上，再经加热聚合后制成。

合成碳膜电阻器可分为高阻合成碳膜电阻器、高压合成碳膜电阻器和真空兆欧合成碳膜电阻器等多种。

这种电阻器的电阻阻值变化范围宽（阻值范围  $10 \sim 10^6 M\Omega$ ），价格低廉，但噪声大，频率特性差，电压稳定性低，抗湿性差，主要用来制造高压、高阻电阻。

#### 3. 金属膜电阻器

如图 2-3 所示是金属膜电阻器实物图，它采用金属膜作为导电层，也属于膜式电阻器。它用高真空加热蒸发（或高温分解、化学沉积、烧渗等方法）技术将合金材料蒸镀在骨架上制成。通过刻槽或改变金属膜的厚度，可以制成不同阻值的金属膜电阻器。

金属膜电阻器又分为普通金属膜电阻器、半精密金属膜电阻器、高精密金属膜电阻器、高压金属膜电阻器等多种。

与碳膜电阻器相比，金属膜电阻器具有体积小，噪声小，稳定性高，温度系数小，耐高温，精

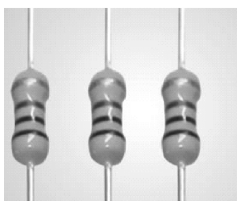


图 2-1 示意图



图 2-2 示意图

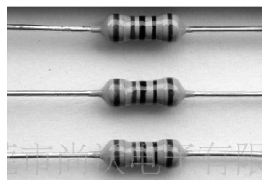


图 2-3 示意图

度高，但脉冲负载稳定性差。阻值范围  $0.1\Omega \sim 620M\Omega$ 。  
如图 2-4 所示是几种其他金属膜电阻器实物图。



图 2-4 示意图

#### 4. 金属氧化膜电阻器

如图 2-5 所示是金属氧化膜电阻器实物图，它除具有金属膜电阻的特点外，它比金属膜电阻的抗氧化性和热稳定性高，功率大（可达  $50kW$ ），但阻值范围小，主要用来补充金属膜电阻的低阻部分。阻值范围： $1\Omega \sim 200k\Omega$ 。

#### 5. 合成实心电阻器

它机械强度高，过负载能力较强，可靠性高，体积小，但噪声大，分布参数（ $L$ ， $C$ ）大，对电压和温度的稳定性差。阻值范围： $4.7\Omega \sim 22M\Omega$ 。

如图 2-6 所示是有机碳实芯合成电阻器实物图。

#### 6. 功率耐冲击玻璃釉膜电阻器

如图 2-7 所示是功率耐冲击玻璃釉膜电阻器实物图，它是用金属玻璃釉镀于磁棒上面，有着极佳的耐冲击特性及高温稳定性，广泛应用于高功率设备。

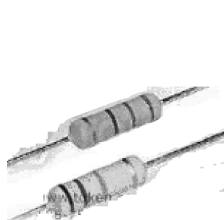


图 2-5 示意图



图 2-6 示意图



图 2-7 示意图

如图 2-8 所示是高阻型玻璃釉电阻器实物图。

#### 7. 线绕低感（无感）电阻器

如图 2-9 所示是线绕低感（无感）电阻器实物图，它将电阻线绕在耐热瓷体上，表面涂以耐热、耐湿、无腐蚀的不燃性涂料，保护而成。

主要特点有耐热性优、温度系数小、质轻、耐短时间过负载、低噪声、阻值经年变化小。线绕无感电阻器（ $NKNP$ ）有着线绕电阻器（ $KNP$ ）基本特性，及低电感量的优点。

#### 8. 涂覆线绕电阻器

如图 2-10 所示是涂覆线绕电阻器，它具有阻值低、体积小、负荷大、性能稳定的特点，主要采用不燃漆包封，使用温度范围为  $-55 \sim +155^\circ\text{C}$ 。

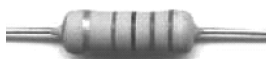


图 2-8 示意图



图 2-9 示意图



图 2-10 示意图

主要在线路中应用于分压以及功率负载。

### 9. 精密电阻器

如图 2-11 所示是精密电阻器实物图。

所谓精密电阻器是指电阻的阻值误差、电阻的热稳定性（温度系数）、电阻器的分布参数（分布电容和分布电感）等项指标均达到一定标准的电阻器。

精密电阻器按材料分主要有金属膜精密电阻器、线绕精密电阻器和金属箔精密电阻器三种。金属膜精密电阻器通常为圆柱形，线绕精密电阻则有圆柱形、扁柱形和长方框架形几种，金属箔精密电阻则常呈方块形或片形。

1) 金属膜精密电阻器的精度较高，但是阻值温度系数和分布参数指标略低。精密测量仪器中常用这种电阻器。如图 2-12 所示是金属膜精密电阻器实物图。

2) 线绕精密电阻器的阻值精度和温度系数指标很高，但是分布参数指标偏低。线绕精密电阻的匝数较多时，往往采用无感绕制法绕制，即正向绕制的匝数和反向绕制的匝数相同，以尽量减小分布电感。如图 2-13 所示是线绕精密电阻器实物图。



图 2-11 示意图



图 2-12 示意图



图 2-13 示意图

3) 金属箔精密电阻器的精度、阻值温度系数和分布参数各项指标都很高，精度可达  $10^{-6}$ ，温度系数可达  $\pm 0.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，分布电容可低于  $0.5\text{pF}$ ，分布电感可低于  $0.1\mu\text{H}$ ，但是价格在这三种电阻中最高。如图 2-14 所示是金属箔精密电阻实物图。

精密电阻也可应用于金属膜熔丝电阻器。

### 10. 高阻电阻器

高阻电阻器的一种是高阻值的碳合成膜电阻器，阻值一般在  $10^7 \sim 10^{12}\Omega$  范围内，其结构与碳膜电阻器相同。如图 2-15 所示是高阻碳合成膜电阻器实物图。

电阻值高于  $10^{12}\Omega$  以上的电阻器，对基体和电阻膜上涂覆层的绝缘性能有更高的要求，可采用绝缘性能更好的超高频瓷或滑石瓷作基体。

如图 2-16 所示是另两种高阻电阻器实物图。

### 11. 高频负载电阻器

如图 2-17 所示是高频负载电阻器实物图，它为终端负载电阻器，使用在具有高功耗的高频电路中，安装在适当的散热器上，在高频功率下具有低的驻波比。

### 12. 其他常见电阻器

如图 2-18 所示是其他一些常见电阻器实物图。

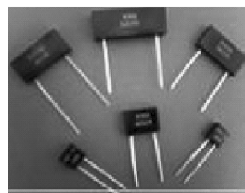


图 2-14 示意图

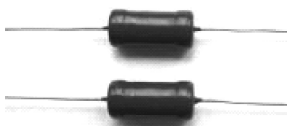
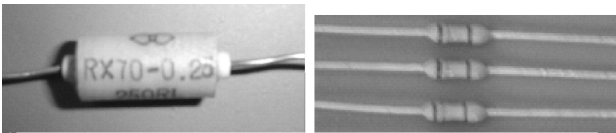


图 2-15 示意图





a) 高精密高阻线绕电阻器      b) 高阻高压玻璃釉膜电阻器

图 2-16 示意图

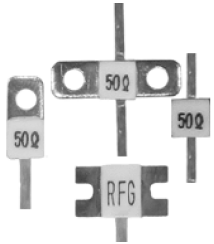
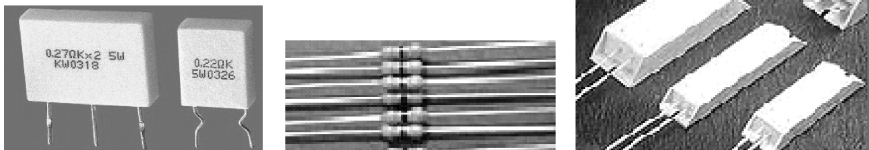
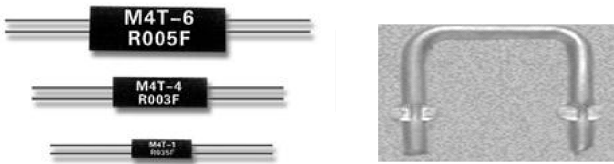


图 2-17 示意图



a) 水泥电阻器      b) 零欧姆跳线电阻器      c) 铝壳功率电阻器



d) 采样电阻器      e) 分流电阻器

图 2-18 示意图

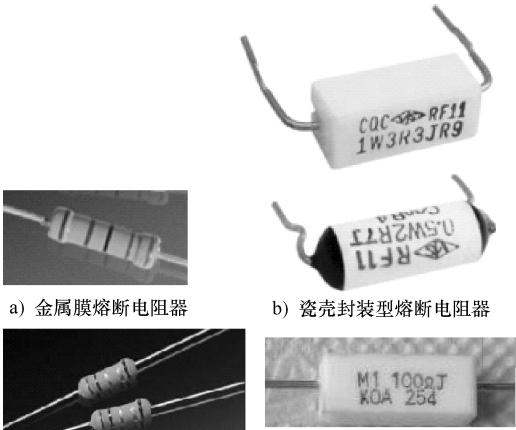
13. 熔断电阻器

如图 2-19 所示是几种熔断电阻器实物图，熔断电阻器是一种具有过电流保护和电阻双重作用的电阻器。

14. 排阻

排阻又称网络电阻、电阻网络。排阻是一排电阻的简称，它将一排电阻网络像集成电路那样封装起来，内电路通过许多引脚引出，是一种组合电阻器，所以也称为集成电阻器。

1) 单列直插网络电阻。如图 2-20 所示是单列直插网络电阻实物图。



a) 金属膜熔断电阻器      b) 瓷壳封装型熔断电阻器  
c) 线绕熔断电阻器      d) 水泥壳熔断电阻器

图 2-19 示意图

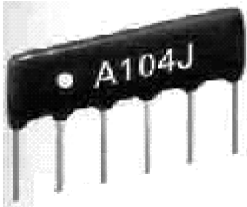


图 2-20 示意图

这种网络电阻只有一列引脚，内部设有一组电阻，不同型号的电阻引脚数量不等，内部电阻电路结构也不同。



2) 双列直插网络电阻。如图 2-21 所示是双列直插网络电阻实物图。

这种网络电阻有两列引脚，它具有体积小、重量轻、可靠性好、耐湿、耐高温等特点。主要用在电视机、音响设备、汽车收音机、自动售货机、复印机、电子测距仪、终端机、计算机、数控仪、存储器、数字仪器的数字电路中等。

3) 高精密网络电阻。如图 2-22 所示是高精密网络电阻实物图。

这种网络电阻具有高稳定、高精度、低温度系数的技术特性，其组成电阻满足质量一致性检验项目的要求。

特点是组成电阻的标称阻值误差，及温度系数具有相对的一致性，特别适用于有精密分压，分流等技术要求的电子电路。

4) 贴片网络电阻。如图 2-23 所示是贴片网络电阻实物图。它的引脚与普通贴片电阻器相同。

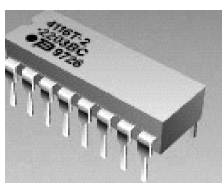


图 2-21 示意图

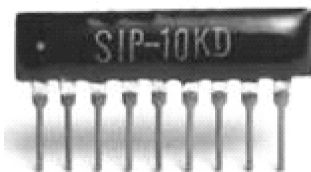


图 2-22 示意图

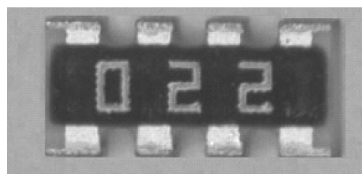


图 2-23 示意图

## ★2.1.2 快速博览敏感类电阻器

### 1. 热敏电阻器

如图 2-24 所示是几种热敏电阻器实物图。从图中可以看出，它有两根引脚，不分正、负，形状似瓷片电容器，这是圆片形热敏电阻器。此外，热敏电阻器还有多种形状，如球形、杆状、管形、圆圈形等。

热敏电阻器的阻值大小与温度相关。

### 2. 压敏电阻器

如图 2-25 所示是压敏电阻器实物图。从图中可以看出，压敏电阻器有两根引脚，其外形与普通电阻器完全不一样。

压敏电阻器的阻值与电压大小相关。

### 3. 光敏电阻器

如图 2-26 所示是几种光敏电阻器实物图。从图中可以看出，它有两根引脚，引脚没有极性之分。

### 4. 湿敏电阻器

如图 2-27 所示是湿敏电阻器实物图。从图中可以看出，它有两根引脚，没有正负之分。

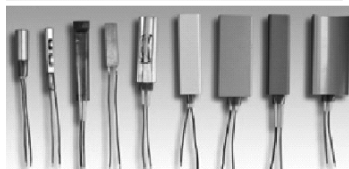
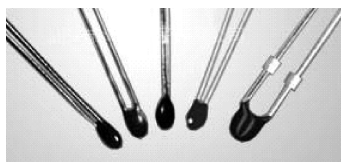
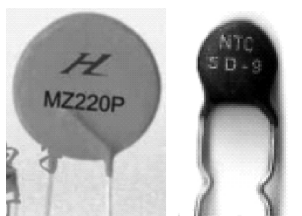
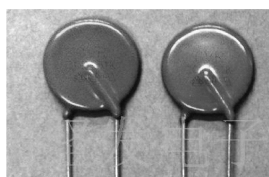
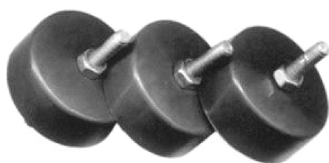


图 2-24 示意图



a) 常见的压敏电阻器



b) 螺锥型压敏电阻器



c) 防雷用压敏电阻器

图 2-25 示意图

湿敏电阻器的阻值大小变化与湿度有关。

## 5. 气敏电阻器

如图 2-28 所示是气敏电阻器实物图。气敏电阻器通常有四根引脚，其中两根是电极，另两根是加热丝引脚。在常温型气敏电阻器中，由于不需要加热丝，所以它只有两根引脚。

气敏电阻器的阻值与气体有关。

## 6. 磁敏电阻器

如图 2-29 所示是磁敏电阻器实物图。从图中可以看出，有两根引脚磁敏电阻器（内部只有一只磁敏电阻器）、三根引脚磁敏电阻器（差分磁敏电阻器）（内部有两只串联的磁敏电阻器）和四根引脚磁敏电阻器（双路差分磁敏电阻器）。

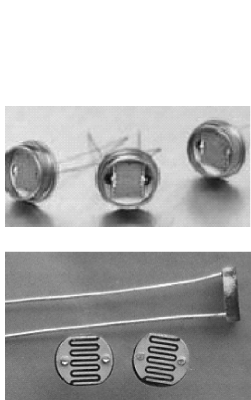


图 2-26 示意图

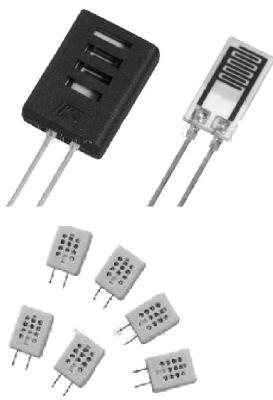
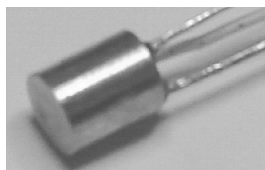


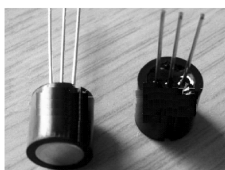
图 2-27 示意图



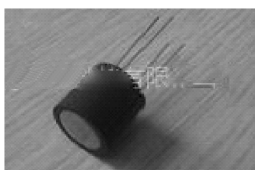
图 2-28 示意图



a) 两根引脚磁敏电阻器



b) 差分磁敏电阻器



c) 双路差分磁敏电阻器

图 2-29 示意图

## ★2.1.3 快速博览可变电阻器和电位器

### 1. 卧式可变电阻器

如图 2-30 所示是卧式可变电阻器实物图。卧式可变电阻器主要使用于小信号电路中，它的引脚垂直向下，平卧地安装在电路板上，阻值调节口朝上。

### 2. 立式可变电阻器

如图 2-31 所示是立式可变电阻器实物图，立式可变电阻器也使用于小信号电路中，它的三根引脚与调节平面成 90°，垂直地安装在电路板上，阻值调节口在水平方向。

### 3. 小型可变电阻器

如图 2-32 所示是小型可变电阻器实物图，小型塑料外壳的可变电阻器体积更小，呈圆形结构。这种可变电阻器在一些体积很小的电子设备中使用。

### 4. 精密可变电阻器

如图 2-33 所示是精密可变电阻器实物图，精密可变电阻器的最大特点是调整电阻值时精度高，在一些电路调整精度要求很高的场合下，普通可变电阻器的调整精度无法满足使用要求，此时可用这种可变电阻器。它在阻值调整时可以转动多圈。



图 2-30 示意图



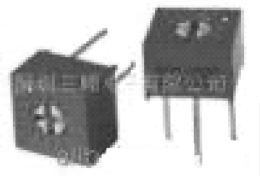
图 2-31 示意图



图 2-32 示意图



图 2-33 示意图



### 5. 膜式可变电阻器

如图 2-34 所示是膜式可变电阻器实物图，膜式可变电阻器采用旋转式调节方式，它一般用在小信号电路中，调整偏置电压或偏置电流、信号电压等。膜式可变电阻器有全密封式、半密封式和非密封式三种结构。

1) 全密封膜式可变电阻器。它也称实心式可变电阻器，电阻体和活动触点被金属外壳密封，优点是防尘性能好，很少出现接触不良故障。

2) 半密封膜式可变电阻器。这种可变电阻器调节方便，但防尘性能不如全密封膜式可变电阻器。

3) 非密封膜式可变电阻器也称片状可调电阻器。它成本低，缺点是防尘性能差，触点易氧化，容易出现与合成碳膜接触不良故障。

### 6. 线绕式可变电阻器

如图 2-35 所示是线绕式可变电阻器实物图，线绕式可变电阻器属于功率型电阻器，它具有噪声小、耐高温、承载电流大等优点，主要用于各种低频电路的电压或电流调整。

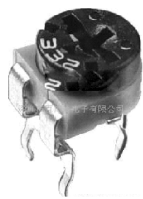


图 2-34 示意图

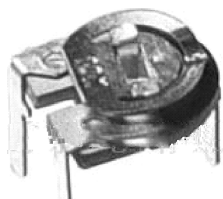
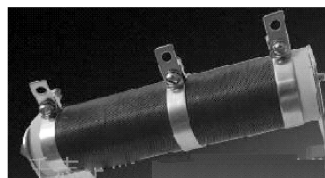


图 2-35 示意图



1) 小功率线绕式可变电阻器。它有圆形立式线绕可变电阻器、圆形卧式线绕可变电阻器和方形线绕可变电阻器等几种，均为全密封式封装结构。

2) 大功率线绕式可变电阻器。它也称为滑线式变阻器，有轴向瓷管式线绕可变电阻器和瓷盘式线绕可变电阻器，采用非密封装结构。

### 7. 旋转式单联电位器

如图 2-36 所示是旋转式单联电位器实物图，这是圆形结构的电位器，它有一根金属转柄，此柄长短在不同电位器中不同，有的相当长，有的则相当短，转柄可以在左右一定角度内旋转，但是不能 360° 转动。

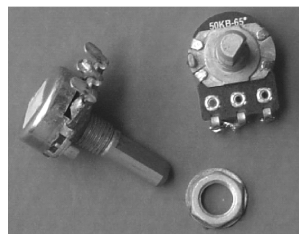


图 2-36 示意图



这种电位器通常是 3 根引脚，有的是 4 根引脚，第 4 根是接外壳的引脚（接地引脚），在电路用来接地线，以消除调整电位器时人体带来的干扰。

### 8. 直滑式单联电位器

如图 2-37 所示是直滑式单联电位器实物图，这是长方形结构的电位器，它有一根垂直向上的操纵柄，此柄只能直线滑动而不能转动，它的引脚片在下部。

### 9. 旋转式双联电位器

如图 2-38 所示是旋转式双联电位器实物图，它与旋转式单联电位器相近，但是它有两个单联电位器，每个单联电位器特性相同，用一根转柄控制两个单联电位器的阻值调整，每个单联电位器各有三根引脚。

### 10. 旋转式多联电位器

如图 2-39 所示是旋转式多联电位器实物图，这是一种更多联的旋转式电位器，用一个转柄控制着所有单联电位器的阻值调整。

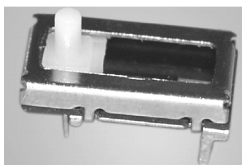


图 2-37 示意图

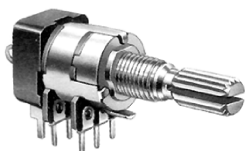


图 2-38 示意图



图 2-39 示意图

### 11. 直滑式双联电位器

如图 2-40 所示是直滑式双联电位器实物图，它与直滑式单联电位器相近，由两个直滑式单联电位器组成，用一根操纵柄控制两个单联电位器的阻值调整，每个单联电位器各有三根引脚。

### 12. 步进电位器

如图 2-41 所示是步进电位器实物图，这种电位器采用高精度特殊电阻组成，用于专业发烧放中，作为音量电位器。

### 13. 线绕多圈电位器

如图 2-42 所示是线绕多圈电位器实物图，这种电位器的结构与普通电位器不同，它所能承受的功率比较大，且阻值可以大于 360°转动调节。

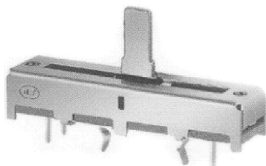


图 2-40 示意图

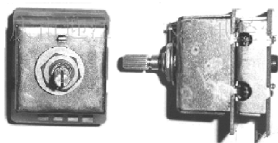


图 2-41 示意图



图 2-42 示意图

### 14. 精密电位器

如图 2-43 所示是精密电位器实物图，这种电位器的调整精度高，用在一些精密电路中。

### 15. 带开关小型电位器

如图 2-44 所示是带开关小型电位器实物图，是用于音量控制器中的电位器，它附有一个电源开关，在电位器刚开始转动时先接通电位器中的开关触点，再转动时才进行电位器调整。

这种带开关的电位器也有多种，图示是收音机中的音量电位器。附设开关用于直流电路中作为电源开关。

带有开关的电位器引脚比普通电位器多出两根，这两根引脚是电源开关的触点引脚。

### 16. 带开关碳膜电位器

如图 2-45 所示是带开关碳膜电位器实物图，这种电位器也用于音量控制器电路中，在电位器





背面也带一个单刀开关，它与上一种小型电位器的不同之处是，它所带的开关通常控制整机电路中的 220V 交流电源，所以它是整机交流电源开关，使用中电位器背面的开关引脚要用绝缘套管套起来，以防止触电。

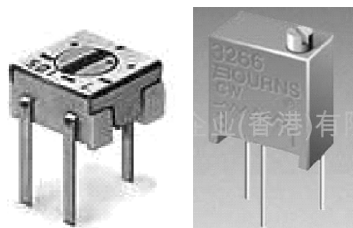


图 2-43 示意图

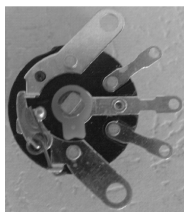


图 2-44 示意图

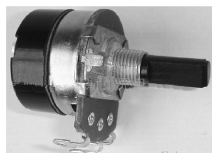
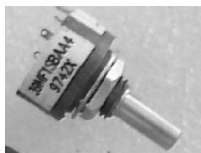


图 2-45 示意图

带开关电位器分为旋转式开关电位器、推拉开关式电位器。

### 17. 有机实芯电位器

如图 2-46 所示是有机实芯电位器实物图。它是用加热塑压的方法，将有机电阻粉压在绝缘体的凹槽内。

这种电位器与碳膜电位器相比具有耐热性好、功率大、可靠性高、耐磨性好的优点。但温度系数大、动噪声大、耐潮性能差、制造工艺复杂、阻值精度较差。在小型化、高可靠、高耐磨性的电子设备以及交、直流电路中用作调节电压、电流。

### 18. 无触点电位器

如图 2-47 所示是无触点电位器实物图，无触点电位器消除了机械接触，寿命长、可靠性高，分光电式电位器、磁敏式电位器等。

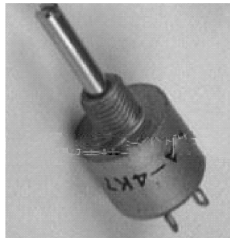


图 2-46 示意图



图 2-47 示意图

### 19. 全封闭一体化电位器

如图 2-48 所示是全封闭一体化电位器实物图。整个电位器封闭在外壳内，长时间使用没有混入灰尘导致杂音的忧虑，寿命较普通电位器长数倍。

### 20. 波段开关式电位器

如图 2-49 所示是波段开关式电位器实物图，这是一种用波段开关构成的电位器，主要用于一些高级音响设备中作为音量控制电位器。

### 21. 合成碳膜电位器

如图 2-50 所示是合成碳膜电位器实物图，合成碳膜电位器是目前应用最广泛的电位器，其电阻体是用经过研磨的碳黑、石墨、石英等材料涂敷于基体表面而成，工艺简单，成本低，广泛用于一般电路中。

优点是稳定性高，分辨率高，阻值范围宽，寿命长，体积小。

缺点是电流噪声大、非线性差、耐潮性、功率小以及阻值稳定性差。

阻值范围为  $100\Omega \sim 4.7M\Omega$ 。



图 2-48 示意图



图 2-49 示意图

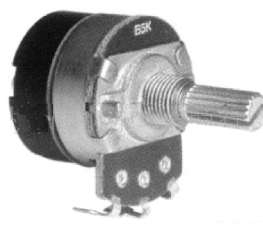


图 2-50 示意图

## 22. 金属膜电位器

如图 2-51 所示是金属膜电位器实物图，金属膜电位器的电阻体可由合金膜、金属氧化膜、金属箔等分别组成。

特点是分辨力高、耐高温、温度系数小、动噪声小、平滑性好。

## 23. 金属玻璃釉电位器

如图 2-52 所示是金属玻璃釉电位器实物图，金属玻璃釉电位器用丝网印制法按照一定图形，将金属玻璃釉电阻浆料涂覆在陶瓷基体上，经高温烧结而成。

特点是阻值范围宽、耐热性好、过载能力强、耐潮、耐磨等好。

缺点是接触电阻大和电流噪声大。

## 24. 绕线电位器

如图 2-53 所示是绕线电位器实物图，绕线电位器是将康铜丝或镍铬合金丝作为电阻体，并把它绕在绝缘骨架上制成。



图 2-51 示意图

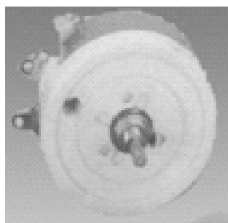


图 2-52 示意图



图 2-53 示意图

绕线电位器优点是稳定性高、噪声小、温度系数小、耐高温、精度很高、功率较大（可达 25W）和接触电阻小。

缺点是分辨力差、阻值偏低、高频特性差。

## 25. 导电塑料电位器

如图 2-54 所示是导电塑料电位器实物图，导电塑料电位器用特殊工艺将邻苯二甲酸二烯丙脂（DAP）电阻浆料覆在绝缘机体上，加热聚合成电阻膜，或将 DAP 电阻粉热塑压在绝缘基体的凹槽内形成的实心体作为电阻体。

特点是平滑性好、分辨力优异、耐磨性好、寿命长、动噪声小、可靠性极高、耐化学腐蚀。

可用于导弹、飞机雷达天线的伺服系统等。



图 2-54 示意图

## 2.2 快速博览电容器、电感器和变压器

### ★2.2.1 快速博览电容器

#### 1. 固定电容器特征

如图 2-55 所示是几种固定电容器实物照片示意图。



1) 普通固定电容器共有两根引脚，它的这两根引脚是不分正、负极的（有极性电解电容除外）。

2) 普通固定电容器的外形可以是圆柱形、长方形、圆片状等，当电容器是圆柱形时注意不要与电阻器相混。

3) 普通固定电容器的外壳是彩色的，在外壳上有的直接标出容量的大小，有的采用其他表示方式（字母、数字、色码）标出容量和允许偏差等。

4) 普通固定电容器的体积不大，有的体积比电阻器大些，有的小于电阻器。

5) 普通固定电容器在电路中可以是垂直方向安装，也可以是卧式安装，它的两根引脚是可以弯曲的。

## 2. 金属化纸质电容器

如图 2-56 所示是几种金属化纸质电容器实物图。一般是用两条铝箔作为电极，中间以厚度为  $0.008 \sim 0.012\text{mm}$  的电容器纸隔开重叠卷绕而成。这种电容器的制造工艺简单，价格便宜，能得到较大的电容量。一般在低频电路内，通常不能在高于  $3 \sim 4\text{MHz}$  的频率上运用。

## 3. 穿心式或支柱式结构瓷介电容器

如图 2-57 所示是穿心式或支柱式结构瓷介电容器实物图。这类电容器的一个电极就是安装螺钉，具有引线电感极小、频率特性好、介电损耗小、有温度补偿作用等优点，特别适于高频旁路。但是，容量不能做大，在振动时会引起容量变化。

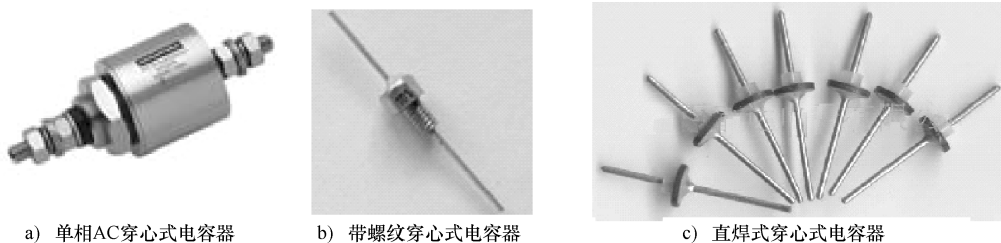


图 2-57 示意图

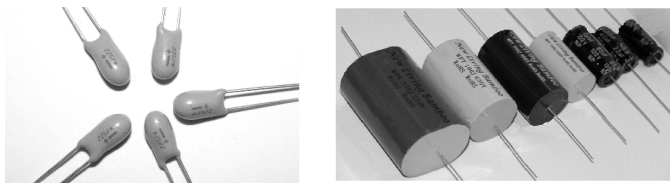
## 4. 油浸电容器

如图 2-58 所示是油浸电容器实物图。油浸电容器的耐压比普通纸质电容器高，稳定性也好，适用于高压电路。

## 5. 薄膜电容器

如图 2-59 所示是薄膜电容器实物图。这种电容器结构与纸质电容器相似，但是用聚脂、聚苯乙烯等低损耗材料作介质，所以频率特性好，介电损耗小，但是不能做成大容量的电容器，且耐热能力差。这种电容器用于滤波器、积分、振荡、定时电路等。

在各种薄膜电容器中，以聚苯乙烯电容器的电性能最好。其温度系数可以被精确地控制，由于有可预测的温度特性，这种电容器非常适合于  $LC$  谐振电路中，其中电感有相应的正温度系数。电容量允许偏差的典型值为  $0.1\%$ ，损耗极小，其耗散因数约为  $0.01\%$ ，然而最高工作温度不能超



a) 普通电容器

b) 卧式轴向电容器

图 2-55 示意图

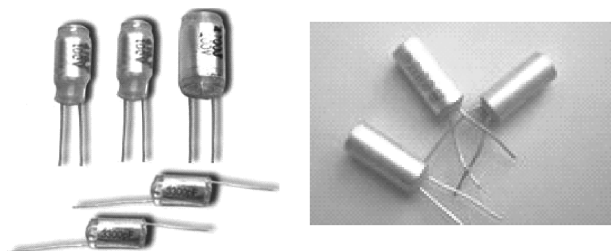


图 2-56 示意图

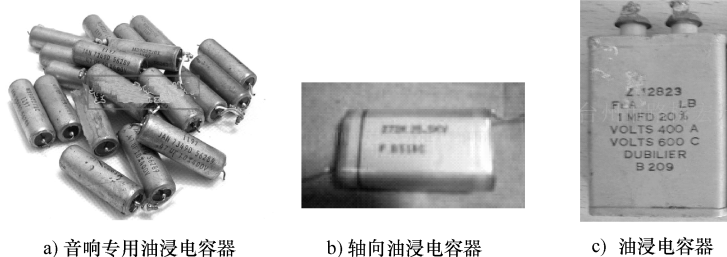


图 2-58 示意图

过 85℃。

聚丙烯电容器与聚苯乙烯电容器的特性相近, 尽管它的损耗因数和温度系数稍微高一些, 但它的额定工作温度可达 105℃, 其价格较聚苯乙烯电容器便宜, 和聚酯电容器的价格差不多。

### 6. 陶瓷电容器

用高介电常数的电容器陶瓷(钛酸钡—氧化钛)材料挤压成圆管、圆片或圆盘作为介质, 并用烧渗法将银镀在陶瓷上作为电极制成。

这种电容器又分高频瓷介和低频瓷介两种。如图 2-60 所示是几种陶瓷电容器实物图。陶瓷电容器具有较小的正温度系数, 用于高稳定振荡电路中, 作为谐振电路电容器和垫整电容器。高频瓷介电容器适用于高频电路。

低频瓷介电容器限于在工作频率较低的回路中作旁路或隔直流用, 或对稳定性和损耗要求不高的场合(包括高频在内)。这种电容器不宜使用在脉冲电路中, 因为它们易于被脉冲电压击穿。

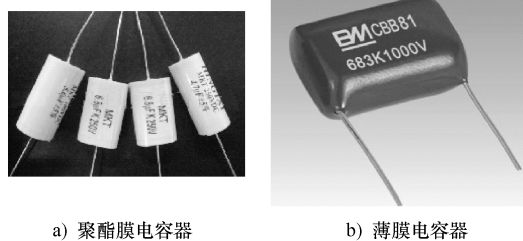


图 2-59 示意图

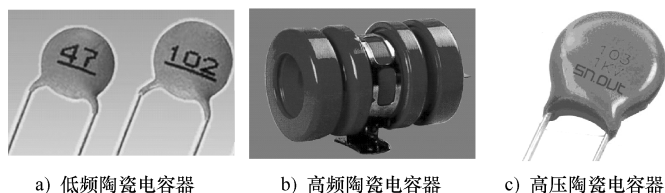


图 2-60 示意图

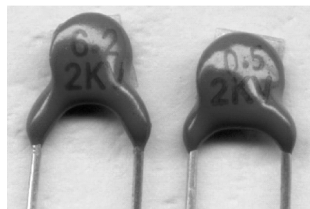


图 2-61 示意图

### 7. 玻璃釉电容器

如图 2-61 所示是玻璃釉电容器实物图, 它由一种浓度适于喷涂的特殊混合物喷涂成薄膜而成, 介质再以银层电极经烧结而成“独石”结构, 性能可与云母电容器媲美, 能耐受各种气候环境, 一般可在 200℃或更高温度下工作, 额定工作电压可达 500V。

### 8. 独石电容器

如图 2-62 所示是独石电容器实物图, 独石电容器又称多层陶瓷电容器, 它在若干片陶瓷薄膜坯上被覆以电极浆材料, 叠合后一次绕结成一块不可分割的整体, 外面再用树脂包封而成。它具有体积小、容量大、高可靠性和耐高温的优点。

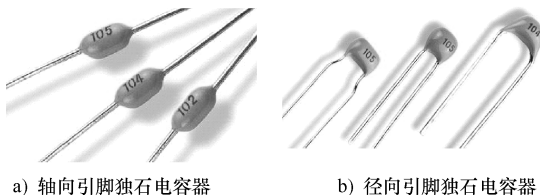


图 2-62 示意图

高介电常数的低频独石电容器也具有稳定的性能、体积极小、 $Q$  值高的特点, 但是容量误差较





大。它可以用于噪声旁路、滤波器、积分电路、振荡电路等。

### 9. 固态电容器

如图 2-63 所示是固态电容器实物图, 固态电容已成为先进的电容器。它与传统的电解电容相比, 采用具有高导电度、高稳定性的导电高分子材料作为固态电解质, 代替了传统铝电解电容器内的电解液, 大幅改善传统液态铝电解电容器的缺点, 展现出极为优异的电气特性。

可靠度高、导电性高的分子铝固态电解电容器已成为下一时代固态电解电容器的开发主流。

### 10. 电解电容器

如图 2-64 所示是几种电解电容器实物图, 它分为有极性电解电容器和无极性电解电容器。

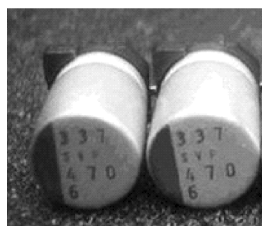
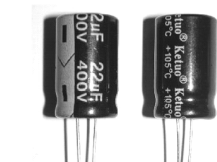


图 2-63 示意图



a) 径向引脚有极性电解电容器



b) 轴向引脚有极性电解电容器



c) 无极性电解电容器

图 2-64 示意图

- 1) 电解电容器的外壳颜色常见的是蓝色, 此外还有黑色等, 其外形通常是圆柱形的。
- 2) 它有两根引脚, 在有极性电解电容器中这两根引脚有正、负极之分, 在外壳上会用 “—” 符号标出负极性引脚的位置。
- 3) 在无极性电解电容器中, 它的两根引脚没有正、负极之分, 没有表示极性的符号, 根据这一特征可以分辨是有极性还是无极性电解电容器。
- 4) 电解电容器的容量一般均较大, 在  $1\mu\text{F}$  以上 (有些进口电解电容器的容量小于这一值), 而且采用直标法。
- 5) 贴片电解电容器无长长的引脚。

### 11. 有极性电解电容器

有极性电解电容器由于内部结构的原因, 两根引脚有正、负极性之分, 使用中不能相互搞反, 否则不能起到正常作用, 还会引起爆炸。为减轻这种危害, 这种电容器上设有防爆口。如图 2-65 所示是人字形防爆口, 此外还有十字形等多种, 有的防爆口设在底部, 形状也有多种多样。

有极性电解电容器的特点是容量可以做得很大, 且容量越大体积越大, 漏电流也比较大。

### 12. 无极性电解电容器

无极性电解电容器是电解电容器的一种, 又称双极性电解电容。无极性电解电容器由于采用了双氧化膜结构, 使电解电容器的引脚变成了无极性, 同时又保留了电解电容器体积小、电容量大、成本低的优点。

音响中分频电路的分频电容就是这种无极性电容。

### 13. 钽电解电容器

如图 2-66 所示是钽电解电容器实物图, 它采用防潮、阻燃性环氧树脂包封, 它体积小、漏电流和介质损耗小、频率及温度特性好、寿命长、可靠性高、稳定性好。而且, 有很宽的工作温度范围, 长时间工作和搁置后性能稳定。

它适用于尖端军事、电脑、汽车、通信、高档家用电器等领域。

### 14. 非固体钽电解电容器

如图 2-67 所示是非固体钽电解电容器, 它是管状半密封、有极性、非固体电解质、烧结阳极钽质电容器。它具有体积小、漏电流小、性能优良、稳定可靠、寿命长等优点。

它适用于通信、宇航等军民用电电子设备。



图 2-65 示意图



## 15. 固体钽质电解电容器

如图 2-68 所示是固体钽质电解电容器实物图，它是金属外壳全密封固体钽质电解电容器。具有体积小、工作温度宽、性能稳定可靠、寿命长等优点。

它广泛用于军用及民用仪器仪表及其他电子设备。

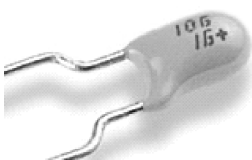


图 2-66 示意图



图 2-67 示意图



图 2-68 示意图

## 16. 其他几种电容器

如图 2-69 所示是其他几种常见电容器实物图。

### 17. 微调电容器和可变电容器外形特征

1) 可变电容器和微调电容器体积比较大，比普通电容器要大许多。

2) 有动片和定片之分。可

变电容器的引脚有多根，一只微调电容器共有两根引脚，在多只微调电容器组合在一起时，各微调电容器的动片可以共用一根引脚。

3) 可变电容器和微调电容器动片可以转动，可变电容器通过转柄转动动片，微调电容器上设有调整用的螺钉旋具缺口，可以转动动片。

4) 许多情况下，微调电容器固定在可变电容器上。

### 18. 陶瓷微调电容器

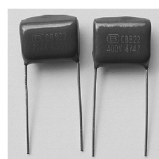
如图 2-70 所示是陶瓷微调电容器实物图。这是一种以陶瓷为介质的微调电容器，所谓微调电容器就是电容量可以在很小范围进行调节的电容器，主要用于一些频率可微调的振荡器电路中，如收音机输入调谐电路等。

### 19. 有机薄膜微调电容器

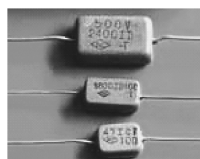
如图 2-71 所示是有机薄膜微调电容器实物图。这是一种以有机薄膜为介质的微调电容器，它的作用与陶瓷微调电容器一样，通常它与可变电容器装配在一起，用于收音机电路中。

### 20. 线绕瓷介微调电容器

如图 2-72 所示是线绕瓷介微调电容器示意图。它用铜丝密集排绕在瓷介质上，在调整容量时需要拆下铜丝来变动电容量，所以这种微调电容器的容量只能调小，拆下铜丝后不能再绕上，这样不适合需要反复调试的场合使用。



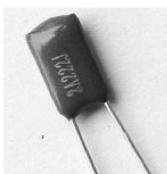
a) 金属氧化膜电容器



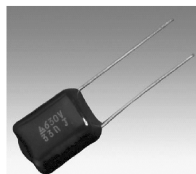
b) 云母电容器



c) 金属箔式聚丙烯膜介质电容器



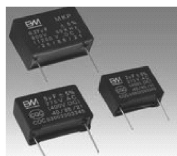
d) 涤纶电容器



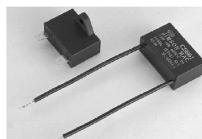
e) 高压涤纶电容



f) 金属化纸介电容器



g) 电磁炉电容器



h) 交流电动机启动电容



i) 空调电容器

图 2-69 示意图



图 2-70 示意图



图 2-71 示意图

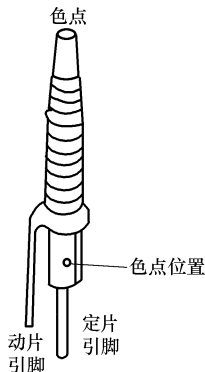


图 2-72 示意图

### 21. 双微调可变电容器

如图 2-73 所示是双微调可变电容器示意图。这个双微调可变电容器的特点是，两个微调电容器的动片已连在一起，该动片引脚用于接电路中的地线，这样这个双微调可变电容器共有 3 根引脚。

### 22. 四微调可变电容器

如图 2-74 所示是四微调可变电容器示意图。这个四微调可变电容器为彼此独立，将四个微调可变电容器集成在一起。

### 23. 单联可变电容器

如图 2-75 所示是单联可变电容器实物图，这是一种电容可以在较大范围（比微调电容器大）内变化的可变电容器，它主要用在直放式收音机输入调谐电路中，作为选台之用。

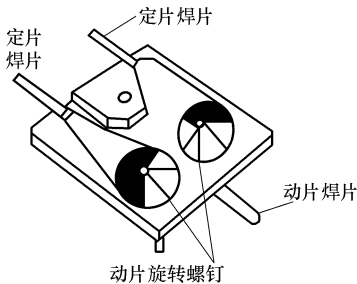


图 2-73 示意图

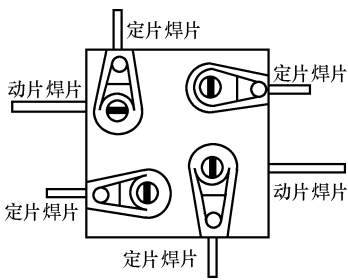


图 2-74 示意图



图 2-75 示意图

### 24. 双联可变电容器

如图 2-76 所示是双联可变电容器实物图。这是一种双联可变电容器，它与单联的不同之处是它有两个相同结构的单联可变电容器，两个联固定在一起，用一个转柄调整，使两个联的容量同步变化。

这种双联可变电容器，主要用于外差式收音机中。一个是调谐联，一个是振荡联。

### 25. 四联可变电容器

如图 2-77 所示是四联可变电容器实物图，这是一种四联可变电容器，它有四个相对独立的联。

这种四联可变电容器主要用于调频/调幅外差式收音机中。两个联分别是调频调谐联和振荡联，另两个是调幅调谐联和振荡联。

### 26. 空气介质可变电容器

如图 2-78 所示是空气介质可变电容器实物图，这是一种以空气为介质的可变电容器，在老式的电子管收音机中广泛使用，现在还在一些信号发生器中有应用。

### 27. 空气双联可变电容器

如图 2-79 所示是空气双联可变电容器实物图。它的结构同空气单联基本相同，有两个容量相等的空气单联，用一个转柄来控制两个联的动片同步转动，即两个联的容量大小同步变化。

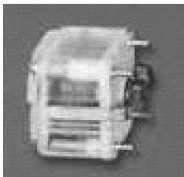


图 2-76 示意图

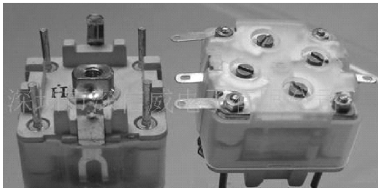


图 2-77 示意图

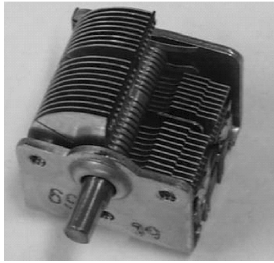


图 2-78 示意图

两个联的动片共用一个动片引脚，这样双联共有三根引脚，两个定片的引脚，另一个是共用的动片引脚。由于两个联的容量相等，所以可不分哪个是调谐联（用于天线调谐回路），哪个是振荡联（用于本振回路），使用中出于减小干扰的考虑，一般将远离转柄的一个联作为振荡联。

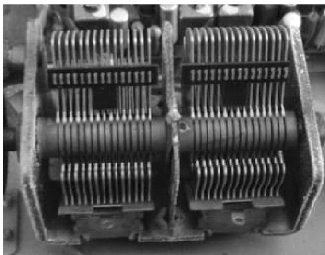


图 2-79 示意图

### ★2.2.2 快速博览电感类元器件

#### 1. 电感器外形特征

各种电感器的外形特征不同，相差较大。

电感器一般情况下有两根引脚，这是没有抽头的电感器，这两根引脚是不分正、负极性的，可以互换。如果电感器有抽头，引脚数目就会大于两根。三根引脚就有头、尾和抽头的分别，不能相互搞错。

除小型固定电感器、贴片式电感器安装比较方便外，其他电感器的安装不方便。

#### 2. 普通电感器

如图 2-80 所示是普通电感器实物图，这是常见的电感器，俗称线圈。

#### 3. 空芯电感器

如图 2-81 所示是空芯电感器实物图，电感器中没有铁心或磁心，是一个空芯线圈。

#### 4. 有芯电感器

如图 2-82 所示是有芯电感器实物图，这种电感器中有铁心或磁心。

#### 5. 立式电感器

如图 2-83 所示是立式电感器实物图。这种电感器垂直安装在电路板上。

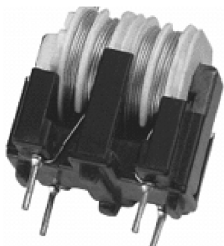


图 2-80 示意图



图 2-81 示意图

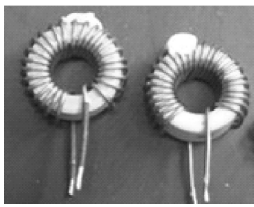


图 2-82 示意图



图 2-83 示意图

#### 6. 卧式电感器

如图 2-84 所示是卧式电感器实物图，这种电感器水平安装在电路板上。

#### 7. 小型固定式电感器

如图 2-85 所示是小型固定式电感器实物图，它像普通电阻器一样有两根固定引脚，可以方便地安装在电路板上。



### 8. 高频电感器

如图 2-86 所示是高频电感器实物图，高频电感器的特点是匝数少、电感量较小，用于工作频率比较高的电路中。

### 9. 低频电感器

如图 2-87 所示是低频电感器实物图，低频电感器又称为低频阻流圈，主要用在低频（音频）电路中，电感量较大。

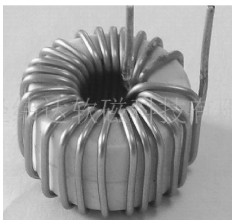


图 2-84 示意图

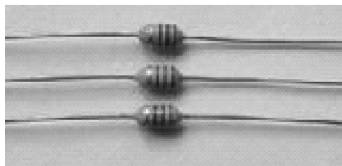


图 2-85 示意图

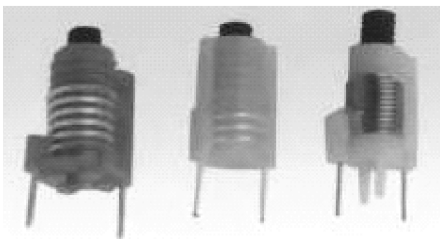


图 2-86 示意图

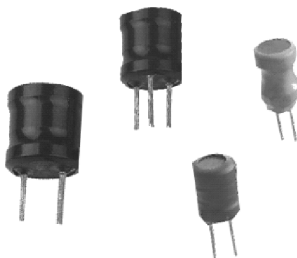


图 2-87 示意图

### 10. 色环电感器

如图 2-88 所示是色环电感器实物图，这种电感器的标称电感器采用色环方法标注。

### 11. 环氧树脂电感器

如图 2-89 所示是环氧树脂电感器实物图，这种电感器的外壳封装材料采用环氧树脂。

### 12. 固定电感器

如图 2-90 所示是固定电感器实物图，这种电感器的电感是固定不能变的。

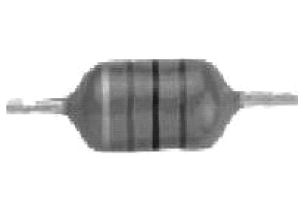


图 2-88 示意图

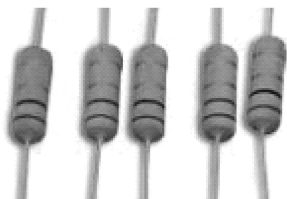


图 2-89 示意图

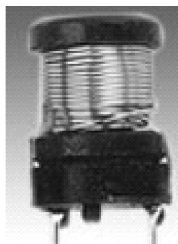


图 2-90 示意图

### 13. 可调电感器

如图 2-91 所示是可调电感器实物图，这种电感器的电感量可以进行微调，旋转顶部的磁心可以微调电感量的大小，所以称为微调电感器。

### 14. 磁棒线圈

如图 2-92 所示是磁棒线圈实物图，它用于调幅收音机电路中，作为天线线圈，有中波的还有短波的天线线圈等。

磁棒天线由磁棒、一次线圈和二次线圈组成。磁棒天线如同一个高频变压器一样，一次和二次线圈之间具有耦合信号的作用。

在磁棒天线中，磁棒采用导磁材料制成，具有导磁特性，它可将磁棒周围的大量电磁波聚集在磁棒内，使磁棒上的线圈感应出更大的信号，所以具有提高收音灵敏度的作用。

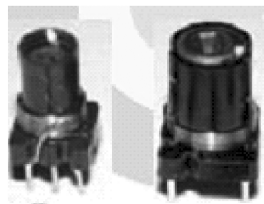


图 2-91 示意图



### 15. 振荡线圈

如图 2-93 所示是振荡线圈实物图，它可以用于收音电路中，作为振荡器中的振荡线圈。

### 16. 行线性线圈

如图 2-94 所示是行线性线圈实物图，它用于电视机电路中，补偿行扫描的线性。

### 17. 消磁线圈

如图 2-95 所示是消磁线圈实物图，它用于彩色电视机中，在开机时对显像管进行退磁处理。

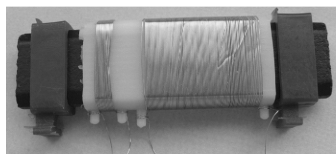


图 2-92 示意图

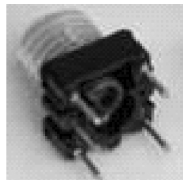


图 2-93 示意图

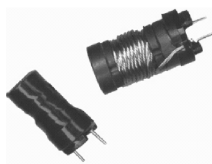


图 2-94 示意图

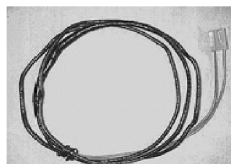


图 2-95 示意图

### 18. 偏转线圈

如图 2-96 所示是偏转线圈实物图，偏转线圈由行和场偏转线圈组成，用于电视机和监视器的扫描电路中，形成水平和垂直扫描磁场。

### 19. 共模电感器

如图 2-97 所示是共模电感器实物图。共模电感（Common mode Choke），也叫共模扼流圈，常用于电脑的开关电源中过滤共模的电磁干扰信号。

共模电感由软磁铁心（铁氧体磁心）和两组同向绕制的线圈组成。对于共模信号，由于两组线圈产生的磁场不是抵消，而是相互叠加，因此铁心被磁化。由于铁心材料的高导磁率，铁心将产生一个大的电感，线圈的感抗使共模信号的通过受到抑制。

### 20. 差模电感器

如图 2-98 所示是差模电感器实物图。差模电感器磁心材料有 3 种。铁硅铝磁粉心的单位体积成本最低，因此最适合制作民用差模电感器，铁镍 50 和铁镍钼磁粉心的价格远远高于铁硅铝磁粉心，更适合军用和一些对体积和性能要求高的场合。



图 2-96 示意图

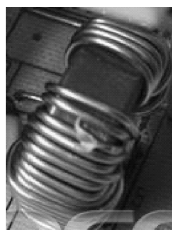


图 2-97 示意图

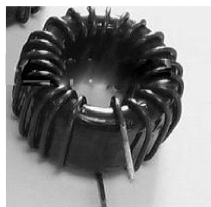


图 2-98 示意图

## ★2.2.3 快速博览变压器

### 1. E 型电源变压器

如图 2-99 所示是 E 型电源变压器实物图。电源变压器是最常用的变压器，用于电源电路中，将 220V 交流市电降为所需要的低电压交流电。

E 型电源变压器也称 EI 型电源变压器，它是最为常用的电源变压器，它的铁心形状有两种：一是 E 型，二是 I 型。铁心是用硅钢片交叠而成的。

这种电源变压器缺点是磁路中的气隙较大，效率较低，工作时电噪声较大。优点是成本低。

### 2. 环型电源变压器

如图 2-100 所示是环型电源变压器实物图。环型变压器的铁心是用优质冷轧硅钢片（片厚一般





为 0.35mm 以下), 无缝地卷制而成, 它的铁心性能优于传统的叠片式铁心。

环形变压器的线圈均匀地绕在铁心上, 线圈产生的磁力线方向与铁心磁路几乎完全重合。

它电效率高、铁心无气隙、外形尺寸小、磁干扰较小、振动噪声较小。

### 3. R 型电源变压器

如图 2-101R 型电源变压器实物图。它又称 C 型电源变压器, 它由两块形状相同的 C 字型铁心 (由冷轧硅钢带制成) 构成。它与 E 型和环型变压器相比, 漏磁最小、体积小、产生的热量最少、不会产生噪声、工作性能更强, 可靠性更高, 绝缘性能强, 安装简便。

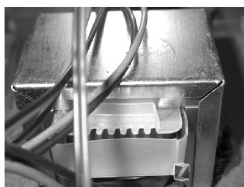


图 2-99 示意图



图 2-100 示意图

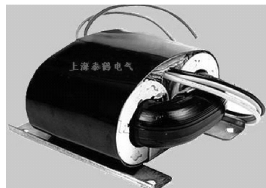


图 2-101 示意图

### 4. 线间变压器

如图 2-102 所示是线间变压器实物图。在长距离传输音频功率信号 (一种可以直接驱动扬声器的音频信号) 时, 为了防止音频功率消耗在传输线路上, 将音频信号电压升高, 这样可降低音频信号电流, 这样在传输线路的音频信号损失就降低, 然后通过线间变压器与低阻抗的扬声器直接连接。

线间变压器的一次阻抗是  $1000\Omega$ , 二次阻抗是  $8\Omega$ , 与  $8\Omega$  扬声器连接, 这样扬声器能获得最大功率。

### 5. 音频输入变压器

如图 2-103 所示是音频输入变压器实物图, 在变压器耦合的功率放大器电路中采用这种音频变压器。

由于输入变压器在电路中起连接前置放大级与输出级的作用, 而输出级一般是采用推挽电路, 所以输入变压器的一次线圈无抽头, 而一次线圈要么有一个中心抽头, 要么有两组匝数相同的二次线圈, 以便获得大小相等、方向相反的两个激励信号, 分别激励两只推挽输出管。

### 6. 音频输出变压器

如图 2-104 所示是音频输出变压器实物图, 输出变压器在电路中起输出级与扬声器之间的耦合和阻抗匹配作用, 由于采用推挽电路, 故输出变压器一次线圈具有中心抽头, 而二次线圈没有抽头。加上要起阻抗匹配作用, 所以输出变压器的二次线圈匝数远少于一次线圈匝数。

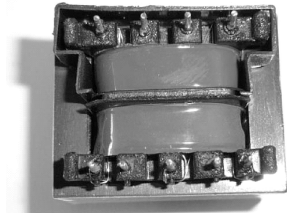


图 2-102 示意图

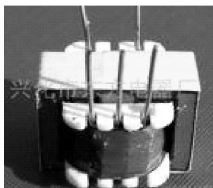


图 2-103 示意图

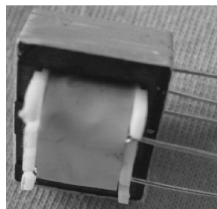


图 2-104 示意图

### 7. 电视机中阻抗变换器

如图 2-105 所示是电视机中阻抗变换器示意图, 它的输入阻抗为  $300\Omega$ , 它的输出阻抗为  $75\Omega$ 。这样通过它将  $300\Omega$  转换成了  $75\Omega$ 。

阻抗变换器有两个作用, 它除了用来进行阻抗的变换外, 还要进行平衡和不平衡的变换。

所谓平衡和不平衡是指输入端、输出端的电路结构, 通俗地讲当输入端或输出端中的两个端点

有一个接地时，称为不平衡式输入或不平衡式输出。

### 8. 中频变压器

如图 2-106 所示是中频变压器实物图，中频变压器的外形是长方体的，为金属外壳。引脚在底部，分成两列分布，最多为六根引脚，一般少于六根引脚，各引脚之间不能互换使用。顶部有一个可以调整的缺口，并有不同的颜色标记。

中频变压器按照用途划分有调幅收音电路用中频变压器，其谐振频率为 465kHz，还有调频收音机用中频变压器，其谐振频率为 10.7kHz。电视机中也有专门的中频变压器。

### 9. 开关电源变压器

如图 2-107 所示是开关电源变压器实物图。脉冲变压器用于各种脉冲电路中，其工作电压、电流等均为非正弦脉冲波。常用的脉冲变压器有电视机的开关变压器、行输出变压器、行推动变压器、电子点火器的脉冲变压器等。

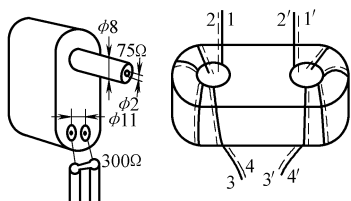


图 2-105 示意图

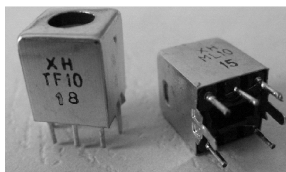


图 2-106 示意图

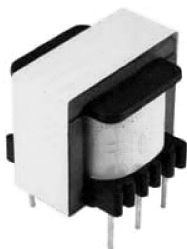


图 2-107 示意图

开关电源变压器工作在脉冲状态下，它的工作频率高、效率高、体积小、功耗小。

开关电源变压器的一次线圈是储能线圈，其二次线圈结构有多种情况，会有多组二次线圈。

### 10. 行输出变压器

如图 2-108 所示是行输出变压器实物图，行输出变压器是电视机行扫描电路的专用一体化结构变压器，简称 FBT，也称为回扫变压器。

它的工作特点是工作在脉冲状态下，工作电压高、频率高。

现在绝大多数采用一体化结构的行输出变压器，其高压绕组、低压绕组、高压整流二极管等均被封灌在一起。它的特点是体积小、重量轻、可靠性高、输出的直流高压稳定。广泛地应用于目前生产的各种电视机和显示器中。

### 11. 行推动变压器

如图 2-109 所示是行推动变压器实物图，行推动变压器也称行激励变压器，它用于电视机扫描通道中，它接在行推动电路与行输出电路之间，起信号耦合、阻抗变换、隔离及缓冲等作用，控制着行输出管的工作状态。

### 12. 枕形校正变压器

如图 2-110 所示是枕形校正变压器示意图，枕形校正变压器用于行、场偏转线圈电路中，进行光栅的枕形校正。



图 2-108 示意图

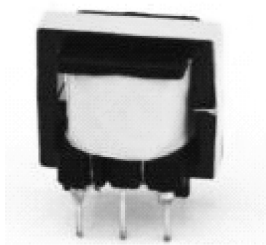


图 2-109 示意图

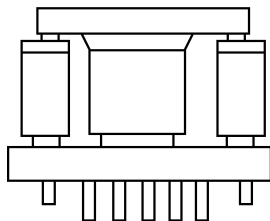


图 2-110 示意图



### 13. 三种类型变压器

按照二次侧输出电压大小划分有三种类型变压器：

- 1) 降压变压器。这种变压器的输出电压低于输入电压，所以称为降压变压器，是最常用的变压器。降压变压器的特征是二次线圈的匝数少于一次线圈的匝数。
- 2) 升压变压器。这种变压器二次线圈输出电压大于输入电压，通过变压器将输入电压升高，所以称为升压变压器。它的特征是二次线圈的匝数多于一次线圈的匝数。
- 3) 1:1 变压器。它的二次线圈的输出电压等于一次线圈上的输入电压，这种变压器的特征是一次和二次线圈的匝数相等。

### 14. 恒压变压器

如图 2-111 所示是恒压变压器实物图，恒压变压器是根据铁磁谐振原理制成的一种交流稳压变压器，它具有稳压、抗干扰和自动短路保护等功能。

当输入电压（电网电压）在  $-20\% \sim +10\%$  范围内变化时，其输出电压的变化不超过  $\pm 1\%$ 。即使恒压变压器输出端出现短路故障时，在 30min 内也不会出现任何损坏。

恒压变压器在使用时，只要接上整流桥堆和滤波电容，即可构成直流稳压电源，可省去其余的稳压电路。

### 15. 电源隔离变压器

如图 2-112 所示是电源隔离变压器实物图，电源隔离变压器又称 1:1 电源变压器，一般作为彩色电视机的维修设备。

这种变压器的特点是输出电压等于输入电压，即一次和二次线圈的匝数相等。



图 2-111 示意图

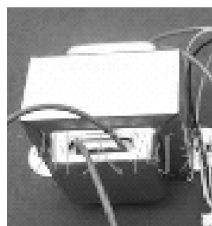


图 2-112 示意图

## 2.3 快速博览二极管和晶体管

### ★2.3.1 快速博览二极管

#### 1. 二极管外形特征

如图 2-113 所示是二极管实物图。

二极管共有两根引脚，通常两根引脚沿轴向伸出。常见的二极管体积不大，与一般电阻器相当。有的二极管外壳上会标出二极管的负极，有的还会标出二极管的电路符号。

#### 2. 点接触型二极管

点接触型二极管是在锗或硅材料的单晶片上压一根金属触丝后，再通过电流法而形成的，如图 2-114 是点接触型二极管结构示意图。

这种二极管 PN 结的静电容量小，适用于高频电路。

点接触型二极管与面结型相比较，正向特性和反向特性都差，因此不能使用于大电流和整流。

因为点接触型二极管构造简单，所以价格便宜。对于小信号的检波、整流、调制、混频和限幅等一般用途而言，它是应用范围较广的二极管。

- 1) 一般点接触型二极管。这种二极管通常被使用于检波和整流电路中，是正向和反向特性既

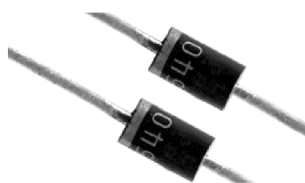


图 2-113 示意图

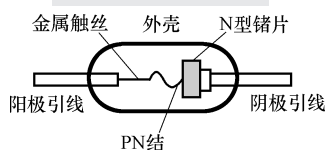


图 2-114 示意图

不特别好，也不特别坏的中间产品。

例如：SD34、SD46、1N34A 等属于这一类二极管。

2) 高反向耐压点接触型二极管。它是最大峰值反向电压和最大直流反向电压很高的二极管，这种型号的二极管一般正向特性不太好或一般，它们用于高压电路的检波和整流。

在点接触型锗二极管中，有 SD38、1N38A、OA81 等。这种锗材料二极管，其耐压受到限制。要求更高时有硅合金和扩散型。

3) 高反向电阻点接触型二极管。这种二极管正向电压特性和一般的二极管相同。虽然其反向耐压也不是特别地高，但反向电流小，因此其特长是反向电阻高。

这种二极管用于高输入电阻的电路和高阻负荷电阻的电路中，锗材料高反向电阻型二极管有 SD54、1N54A 等。

4) 高传导点接触型二极管。它与高反向电阻型二极管相反，其反向特性尽管很差，但是正向电阻足够小。

高传导点接触型二极管有 SD56、1N56A 等。高传导键型二极管能够得到更优良的特性。这类二极管，在负荷电阻特别低的情况下，整流效率较高。

### 3. 台面型二极管

台面型二极管 PN 结的制作方法虽然与扩散型相同，但是，只保留 PN 结及其必要的部分，把不必要的部分用药品腐蚀掉，其剩余的部分便呈现出台面形，因而得名。这种台面型称为扩散台面型，如图 2-115 所示是台面型二极管结构示意图。

对于这一类型来说，似乎大电流整流用的产品型号很少，而小电流开关用的产品型号却很多。

### 4. 平面型二极管

平面型二极管在半导体单晶片（主要是 N 型硅单晶片）上，扩散 P 型杂质，利用硅片表面氧化膜的屏蔽作用，在 N 型硅单晶片上仅选择性地扩散一部分而形成的 PN 结。因此，不需要调整 PN 结面积的药品的腐蚀作用。由于半导体表面被制作得平整，故而得名，如图 2-116 平面型二极管结构示意图。

在 PN 结合的表面，因为被氧化膜覆盖，所以公认为是稳定性好和寿命长的类型。最初，对于被使用的半导体材料是采用外延法形成的，故又把平面型称为外延平面型。

对于平面型二极管而言，使用于大电流整流用的型号很少，而作小电流开关用的型号则很多。

### 5. 合金型二极管

合金型二极管在 N 型锗或硅的单晶片上，通过合金钢、铝等金属的方法制作 PN 结而形成的。正向电压降小，适于大电流整流。

因为其 PN 结反向时静电容量大，所以不适于高频检波和高频整流。

### 6. 键型二极管

键型二极管是在锗或硅的单晶片上熔接金或银的细丝而形成的。其特性介于点接触型二极管和合金型二极管之间。

与点接触型相比较，虽然键型二极管的 PN 结电容量稍有增加，但正向特性特别优良。

这种二极管多作开关用，有时也被应用于检波和电源整流（不大于 50mA）。

在键型二极管中，熔接金丝的二极管有时被称金键型，熔接银丝的二极管有时被称为银键型。

### 7. 扩散型二极管

扩散型二极管在高温的 P 型杂质气体中，加热 N 型锗或硅的单晶片，使单晶片表面的一部分变成 P 型，以此法得 PN 结。

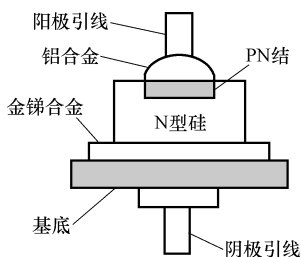


图 2-115 示意图

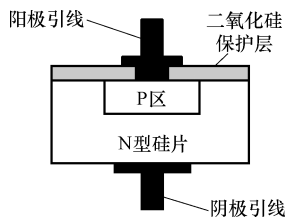


图 2-116 示意图





因为 PN 结正向电压降小, 适用于大电流整流。最近, 使用大电流整流器的主流已由硅合金型转移到硅扩散型。

### 8. 合金扩散型二极管

合金扩散型二极管是合金型的一种。合金材料是容易被扩散的材料。把难以制作的材料通过巧妙地掺配杂质, 就能与合金一起扩散, 以便在已经形成的 PN 结中获得杂质的恰当浓度分布。

合金扩散型二极管适用于制造高灵敏度的变容二极管。

### 9. 外延型二极管

外延型二极管是用外延面长的过程制造 PN 结而形成的二极管。制造时需要非常高超的技术。因能随意地控制杂质的不同浓度的分布, 故适宜于制造高灵敏度的变容二极管。

### 10. 肖特基二极管 (Schottky Barrier Diode)

如图 2-117 所示是肖特基二极管实物图。肖特基二极管基本原理是: 在金属 (例如铅) 和半导体 (N 型硅片) 的接触面上, 用已形成的肖特基来阻挡反向电压。

肖特基与 PN 结的整流作用原理有根本性的差异。其耐压程度只有 40V 左右。其特长是: 开关速度非常快, 反向恢复时间特别地短。因此, 能制作开关二极管和低压大电流整流二极管。

### 11. 检波二极管

如图 2-118 所示几种检波二极管实物图, 以工作电流的大小作为界线, 通常把输出电流小于 100mA 的叫检波。

锗材料点接触型、工作频率可达 400MHz, 正向压降小, 结电容小, 检波效率高, 频率特性好, 如 2AP 型二极管。

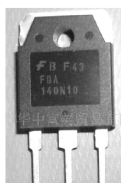
这种二极管除用于检波外, 还能够用于限幅、削波、调制、混频、开关等电路。

### 12. 整流二极管

如图 2-119 是整流二极管实物图, 通常将工作电流大于 100mA 的叫整流二极管。面结型二极管, 工作频率低, 最高反向电压从 25 ~ 3000V 分 A ~ X 共 22 挡。



a) 单管



b) 对管

图 2-117 示意图

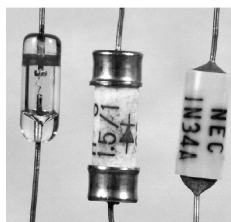


图 2-118 示意图

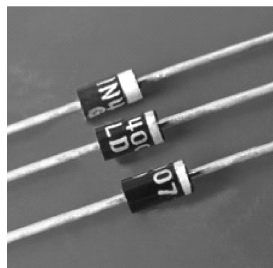


图 2-119 示意图

- 1) 硅半导体整流二极管, 如 2CZ 型。
- 2) 硅桥式整流器, 如 QL 型。
- 3) 用于电视机高压硅堆, 如工作频率近 100kHz 的 2CLG 型。

### 13. 限幅二极管

大多数二极管能作为限幅使用。

有保护仪表用和高频齐纳管那样的专用限幅二极管。为了使这些二极管具有特别强的限制尖锐振幅的作用, 通常使用硅材料制造的二极管。

还有组合型的限幅二极管, 即根据限制电压需要, 将多个整流二极管串联起来形成一个整体。

### 14. 调制二极管

它通常指的是环形调制专用的二极管, 就是正向特性一致性好的 4 个二极管的组合件。

变容二极管也有调制功能, 但是变容二极管通常是作为调频用, 即用于压控振荡器中。



### 15. 混频二极管

使用二极管混频器时，频率范围为 500 ~ 10000Hz，多采用肖特基型和点接触型二极管。

### 16. 放大二极管

用二极管放大有两种：依靠隧道二极管和体效应二极管那样的负阻性器件的放大，以及用变容二极管的参量放大。

因此，放大用二极管通常是指隧道二极管、体效应二极管和变容二极管。

### 17. 开关二极管

如图 2-120 是开关二极管实物图。有小电流下（10mA）使用的逻辑运算和在数百毫安下使用的磁心激励用开关二极管。

小电流的开关二极管通常有点接触型和键型等，也有在高温下还可能工作的硅扩散型、台面型和平面型二极管。

开关二极管的特长是开关速度快。而肖特基型二极管的开关时间特短，因而是理想的开关二极管。

2AK 型点接触为中速开关电路用，2CK 型平面接触为高速开关电路用，用于开关、限幅、钳位或检波等电路。

肖特基（SBD）硅大电流开关二极管的优点是正向压降小，速度快、效率高。

### 18. 变容二极管

如图 2-121 所示是变容二极管实物图。

用于自动频率控制（AFC）和调谐用的小功率二极管称变容二极管。变容二极管采用硅的扩散型二极管，也有采用合金扩散型、外延结合型、双重扩散型等特殊制作的二极管，因为这些二极管对于电压而言，其静电容量的变化率特别大。

### 19. 频率倍增二极管

对二极管的频率倍增作用而言有两种：

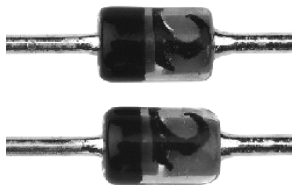


图 2-120 示意图

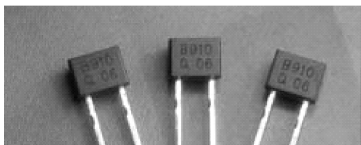
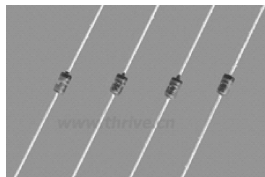
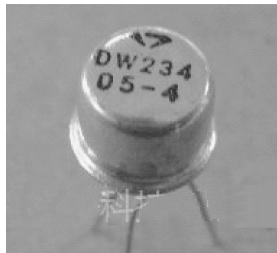


图 2-121 示意图



a) 普通稳压二极管



b) 温度补偿稳压二极管

图 2-122 示意图

1) 依靠变容二极管的频率倍增和依靠阶跃（即急变）二极管的频率倍增。

2) 频率倍增用的变容二极管，它又称为可变电抗器。

阶跃二极管又被称为阶跃恢复二极管，从导通切换到关闭时的反向恢复时间短，其特点是急速地变成关闭的转移时间短。如果对阶跃二极管施加正弦波，那么，因为转移时间短，所以输出波形急躁地被夹断，故能产生很多高频谐波，实现频率倍增功能。



## 20. 稳压二极管

如图 2-122 所示是稳压二极管实物图。

它为硅扩散型或合金型，是反向击穿特性曲线急骤变化的二极管，动态电阻  $R_Z$  很小。

稳压二极管工作时的端电压（又称齐纳电压）从 3V 左右到 150V，按每隔 10%，能划分成许多等级。

在功率方面，也有从 200mW 至 100W 以上的产品。

主要有 2CW 型。将两个互补二极管反向串接以减少温度系数则为 2DW 型。

## 21. PIN 型二极管 (PIN Diode)

PIN 管由三层半导体材料构成，即在 P 区和 N 区之间夹一层本征半导体（或低浓度杂质的半导体，是很厚的本征半导体层）构造的晶体二极管。PIN 中的 I 是“本征”意义的英文略语。

当其工作频率超过 100MHz 时，由于少数载流子的存贮效应和“本征”层中的渡越时间效应，其二极管失去整流作用而变成阻抗元件，并且，其阻抗值随偏置电压而改变。

在零偏置或直流反向偏置时，“本征”区的阻抗很高。

在直流正向偏置时，由于载流子注入“本征”区，而使“本征”区呈现出低阻抗状态。因此，可以把 PIN 二极管作为可变阻抗元件使用。

PIN 型二极管通常应用于高频开关（即微波开关）、移相、调制、限幅等电路中。

PIN 二极管主要应用于射频开关和射频可变电阻，工作频率可以高达 50GHz。PIN 二极管的射频电阻可以在直流偏置电压的控制下，从高阻抗的 10kΩ 变到低阻抗的小于 1Ω。在射频电路中通常用作电子开关，如 GSM 手机中的双工器电子开关。

## 22. 雪崩二极管 (Avalanche Diode)

如图 2-123 所示是雪崩二极管 (APD) 实物图。它是在外加电压作用下可以产生高频振荡的晶体管。

产生高频振荡的工作原理是：利用雪崩击穿对晶体注入载流子，因载流子渡越晶片需要一定的时间，所以其电流滞后于电压，出现延迟时间，若适当地控制渡越时间，那么，在电流和电压关系上就会出现负阻效应，从而产生高频振荡。

雪崩二极管通常被应用于微波领域的振荡电路中。

## 23. 江崎二极管 (Tunnel Diode)

它是以隧道效应电流为主要电流分量的晶体二极管，它又称为隧道二极管。

江崎二极管为双端子有源器件。其主要参数有峰谷电流比 ( $I_P/I_V$ )，其中，下标“P”代表“峰”；而下标“V”代表“谷”。

江崎二极管可以被应用于低噪声高频放大器及高频振荡器中（其工作频率可达毫米波段），也可以被应用于高速开关电路中。

## 24. 快速关断（阶跃恢复）二极管 (Step Recovery Diode)

它是一种具有 PN 结的二极管。

阶跃恢复二极管的“自助电场”缩短了存贮时间，使反向电流快速截止，并产生丰富的谐波分量。利用这些谐波分量可设计出梳状频谱发生电路。

快速关断（阶跃恢复）二极管用于脉冲和高次谐波电路中。

## 25. 阻尼二极管

如图 2-124 所示是阻尼二极管实物图，它具有较高的反向工作电压和峰值电流，正向压降小，高频高压整流二极管用在电视机行扫描电路，做阻尼和升压整流用。

主要应用于电视机行扫描中做阻尼和升压整流用，要求其承受较高的反向工作电压和峰值电流，且要求正向压降越小越好，因此



图 2-123 示意图



图 2-124 示意图

它是一种特殊的高频高压整流二极管，也可看作是高反压开关二极管的一种。

## 26. 瞬变电压抑制二极管

如图 2-125 所示是瞬变电压抑制二极管实物图，它又称瞬态电压抑制二极管。它可以对电路进行快速过电压保护，分双极型和单极型两种，按峰值功率（500 ~ 5000W）和电压（8.2 ~ 200V）分类。

## 27. 双基极二极管（单结晶体管）

如图 2-126 所示是双基极二极管（单结晶体管）实物图，它有两个基极，一个发射极的三端负阻器件，用于张弛振荡电路、定时电压读出电路中，它具有频率易调、温度稳定性好等优点。

## 28. 发光二极管

如图 2-127 所示是发光二极管示意图，它是能发光的二极管，体积小，正向驱动发光，工作电压低，工作电流小，发光均匀、寿命长。

## 29. 超高亮白色发光二极管

如图 2-128 所示是超高亮白色发光二极管实物图，由于白色发光二极管的低功耗、高效率显著特点，近几年快速发展，应用十分广泛，特别是应用前景无限宽广。

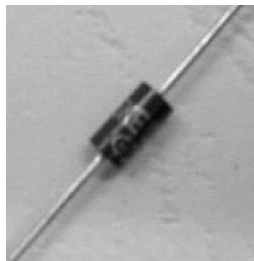


图 2-125 示意图

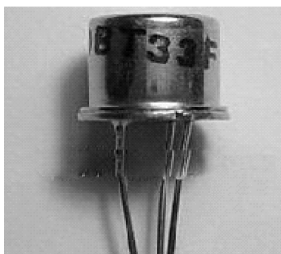


图 2-126 示意图

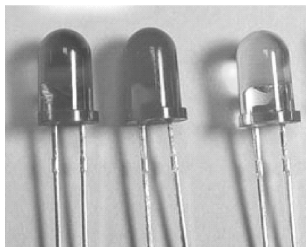


图 2-127 示意图

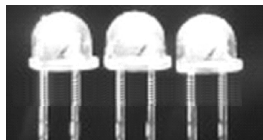


图 2-128 示意图

与传统的照明灯相比，超高亮 LED 具有如下优点：

- 1) 寿命长，可靠耐用，维护费用极为低廉，LED 可连续使用 105h，比普通白炽灯泡长 100 倍。
- 2) 光谱几乎全部集中于可见光频段，其发光效率可达 80% ~ 90%，比节能灯还要节能 1/4。
- 3) 色彩鲜艳，光色单纯 以 12in 的红色交通信号灯为例，它采用低光效的 140W 白炽灯作为光源，所产生的 2000lm 的白光经红色滤光片后，光损失 90%，只剩下 200lm 的红光。而采用 18 个红色 LED 光源设计的灯中，包括电路损失在内，仅耗电 14W，即可产生同样的光效。
- 4) 点亮速度快。汽车信号灯是 LED 光源应用的一个重要领域，由于 LED 响应速度快（ns 级），在汽车上安装高位 LED 刹车灯，可以减少汽车追尾事故的发生。

近年来高亮 LED 已经在汽车的近光灯中得到了应用，例如德国奥迪公司、意大利 Fioravanti 公司、美国福特公司等，高亮 LED 已用于前照灯的设计中。

## 30. 快恢复和超快恢复二极管 FRD（Fast Recovery Diode）

如图 2-129 所示是几种快恢复和超快恢复二极管实物图。

- 1) 快恢复二极管是一种新型半导体器件，具有开关特性好，反向恢复时间短、正向电流大、体积小、安装简便等优点。
- 2) 超快恢复二极管 SRD（Superfast Recovery Diode）是在快恢复二极管基础上发展而成的，其反向恢复时间（ $t_{rr}$ ）值已接近于肖特基二极管的指标。
- 3) 快恢复二极管最主要特点是它的反向恢复时间在几百纳秒（ns）以下，超快恢复二极管甚至能达到几十纳秒。



图 2-129 示意图

所谓反向恢复时间的定义是：电流通过零点由正向转换成反向，再由反向转换到规定低值的时间间隔。它是衡量高频续流及整流器件性能的重要技术指标。

它们可广泛用于开关电源、脉宽调制器（PWM）、不间断电源（UPS）、交流电动机变频调速（VVVF）、高频加热等装置中，作为高频、大电流的续流二极管或整流管。

### 31. 恒流二极管 CRD（Current Regulative Diode）

如图 2-130 所示是恒流二极管实物图，它属于两端结型场效应恒流器件。恒流二极管和恒流晶体管是近年来问世的半导体恒流器件，而恒流晶体管又是在恒流二极管的基础上发展而成的。

恒流二极管能在很宽的电压范围内输出恒定的电流，并具有很高的动态阻抗。它可用于稳定和限制电流，是一种能为电路提供持续电流的二极管，即使出现电源电压供应不稳定或是负载电阻变化很大的情况，都能确保电路电流稳定。

由于它的恒流性能好、价格较低、使用简便，主要应用在低功率方面，如恒流源、稳压源、放大器以及电子仪器的保护电路中，以及电话线路电路模块、PC 板的某些电路中。

### 32. 双向触发二极管

如图 2-131 所示是双向触发二极管实物图，双向触发二极管又称二端交流器件（Diode Alternating-Current Switch, DIAC）或双向二极管，它与双向晶闸管同时间世。

双向触发二极管与压敏电阻有区别，压敏电阻的电阻变化很缓慢、线性的或者曲线形的，而双向触发二极管变化特别陡，等效电阻或是无穷大，或是接近为零。

由于双向触发二极管结构简单、价格低廉，所以常用来触发双向晶闸管，还可构成过电压保护电路等。

### 33. 变阻二极管

如图 2-132 所示是变阻二极管实物图，它是利用 PN 结之间等效电阻可变的原理制成的半导体器件，主要应用于 10 ~ 1000MHz 高频电路或开关电源等电路中，做可调衰减器，起限幅、保护作用。

普通二极管的 PN 结等效电阻随 PN 结正向偏置电压大小变化而变化，变阻二极管的这一等效电阻特性更加明显。

当二极管两端的正向偏压增高时，二极管的正向电流将增大，其等效内阻将减小。

当二极管两端的正向偏压降压时，二极管的正向电流也随之减小，其等效内阻将增大。

当二极管的外加偏置电压固定时，二极管的等效电阻会保持稳定。





图 2-130 示意图



图 2-131 示意图

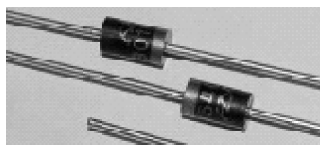


图 2-132 示意图

### 34. 磁敏二极管

磁敏二极管是一种磁—电转换半导体器件，这种元件比霍尔元件的探测灵敏度高，且具有体积小、响应快、无触点、输出功率大及线性好的优点。

磁敏二极管可以在较弱的磁场作用下，产生较高的输出电压，并随着磁场方向的变化同步输出变化的正、负电压。

磁敏二极管在磁力探测、电流测量、无触点开关、位移测量、转速测量及无电刷直流电动机的自动控制等各种自动化设备上得到广泛的应用。

常用的磁敏二极管有 2DCM 系列和 2ACM 系列。

### 35. 温敏二极管

在一定偏置电流下，温敏二极管 PN 结的压降是温度的函数，这个函数的曲线近似为直线。温度每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ，温敏二极管 PN 结正向压降就下降  $2\text{mV}$ 。

用于测温的温敏二极管，不宜使用锗材料制作，因为锗二极管的反向电流大、线性度差。用于制造温敏二极管的半导体材料大多选用硅及砷化镓材料。

### 36. 精密二极管

精密二极管简称 PD，它是一种具有稳定电压和稳定电流功能的高精度二极管，它工作温度适用范围较宽、线性好、稳定性非常高，主要应用于各种电子电路中，作为恒流源或恒压源。常用的精密二极管有 HW 系列（单管）、SHW 系列（对管）和 THW 系列（带温控器）等。

### 37. 补偿二极管

补偿二极管是一种具有良好的温度特性和稳压特性的半导体二极管，广泛应用于各种半导体收音机、音响系统和通信设备中，作为温度补偿及电源降压补偿。常用的补偿二极管有 2CB 系列等，2CB 系列补偿二极管采用环氧树脂陶瓷圆片状封装。

### 38. 光敏二极管

光敏二极管是由一个 PN 结构成的硅二极管，也具有单向导电特性。但是它与普通二极管不同的是，它是工作在反向偏置电压下。

光敏二极管的管芯没有光照时，电阻大，反向电流只有  $0.1\text{A}$  左右，称为暗电流。

在受到光线照射时，由于光激发，它们在反向电压作用下，形成较大的反向电流，称之为光电流，有光照时光敏二极管的电阻小。

光的强度越大，产生的光电流也越大，当在外电路接上负载时，光电流就在负载上产生电压降，光信号就转换成电信号。

### 39. 桥堆

如图 2-133 所示是桥堆实物图，桥堆是整流二极管的组合器件，这一点可以从它们的结构中看出。在许多电源电路中使用桥堆构成整流电路。

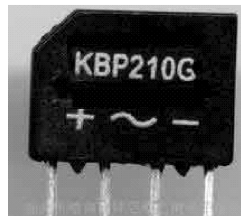
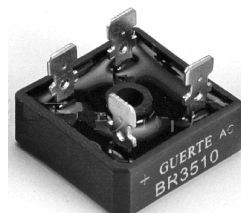


图 2-133 示意图





桥堆的外形有许多种。桥堆的体积大小不一，一般情况下整流电流大的桥堆其体积大。

全桥堆共有四根引脚，这四根引脚除标有“~”符号的两根引脚之间可以互换使用外，其他引脚之间不能互换使用。

桥堆的各引脚旁均有标记，但这些标记不一定是标在桥堆的顶部，也可以标在侧面的引脚旁。在其他电子元器件中，像桥堆这样的引脚标记方法是没有的，所以在电路中能很容易识别桥堆。

#### 40. 半桥堆

如图 2-134 所示是一种三根引脚的半桥堆实物图。

半桥堆可以构成全波整流电路，两种不同极性的半桥堆分别可以构成输出正极性电压的全波整流电路和输出负极性电压的全波整流电路。两个不同极性的半桥堆合起来构成一个桥堆，作为桥式整流电路。

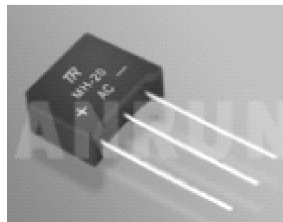


图 2-134 示意图

#### 41. 高压硅堆

如图 2-135 所示是高压硅堆的外形示意图，常用的高压硅堆有 2CL、2CGL、2DGL 等系列。高压硅堆（高压二极管）是电压从几千伏到两万伏的快速整流器件，是一种特殊半导体器件。它是在制作过程中直接将十几个高压二极管串联做在一起的一个组件，因此又称高压硅堆。高压硅堆广泛用于电视机和显示器的行输出变压器、雷达、X 光机等领域。

高压整流硅堆主要分为：低频高压硅堆、高频高压硅堆、超高频高压硅堆、耐冲击高压硅堆、脉冲高压硅堆、雪崩高压硅堆、油浸式高压硅堆、X 光机专用高压硅堆、半桥式高压硅堆、组合式高压硅堆等。

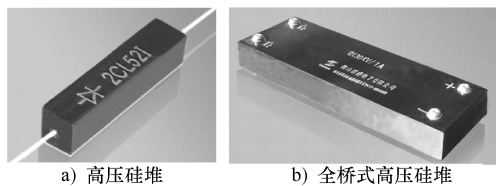


图 2-135 示意图

#### 42. 红外发光二极管

如图 2-136 所示是红外发光二极管实物图。红外发光二极管也称红外线发射二极管，它是可以将电能直接转换成红外光（不可见光）并能辐射出去的发光器件，主要应用于各种光控及遥控发射电路中。

常见的红外发光二极管，其功率分为小功率（1 ~ 10mW）、中功率（20 ~ 50mW）和大功率（50 ~ 100mW 以上）三大类。

### ★2.3.2 快速博览晶体管

#### 1. 晶体管

讲起电子电路、电子元器件当然离不开“主角”晶体管。电子电路离开了晶体管根本就是“一事无成”，电路中的许多元器件也都是为晶体管服务的。

值得提醒的是：虽然晶体管主要功能是放大电信号，但是电子电路中许多晶体管并不用来放大电信号，而是起信号控制、处理等多种多样的作用，这样的晶体管电路分析比较困难。

如图 2-137 所示是晶体管示意图。晶体管有三根引脚：基极（用 B 表示）、集电极（C）和发射极（E），各引脚不能相互代用。

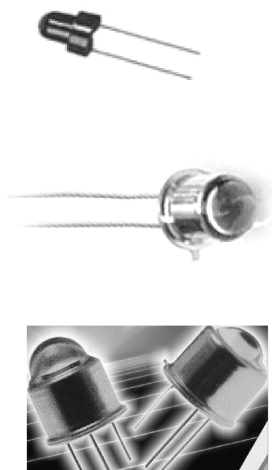


图 2-136 示意图

三根引脚中，基极是控制引脚，基极电流大小控制着集电极和发射极电流的大小。基极电流最小，且远小于另外两个引脚的电流，发射极电流最大，集电极电流略小于发射极电流。

## 2. NPN 型晶体管和 PNP 型晶体管

NPN 型晶体管是目前最常用的晶体管，电流从集电极流向发射极。

PNP 型晶体管的电流从发射极流向集电极。这两种晶体管通过电路符号可以分清，不同之处是发射极的箭头方向不同。

## 3. 硅晶体管和锗晶体管

用硅材料制造的是硅晶体管，简称为硅管，这是目前最常用的晶体管，工作稳定性好。

用锗材料制造的是锗晶体管，简称为锗管，反向电流大，受温度影响较大。

## 4. 晶体管特征

1) 一般晶体管只有三根引脚，它们不能相互代替。这三根引脚可以按等腰三角形分布，也可以按一字形排列。各引脚的分布规律在不同封装类型的晶体管中不同。

2) 晶体管的体积有大有小，一般功率放大管的体积较大，且功率越大其体积越大，体积大的晶体管约有手指般大小，体积小的晶体管只有半个黄豆大小。

3) 一些金属封装的功率晶体管只有两根引脚，它的外壳是集电极，即第三根引脚。有的金属封装高频放大管有四根引脚，第四根引脚接外壳，这一引脚不参与晶体管内部工作，接电路中地线。如果是对管，即外壳内有两只独立的晶体管，则有 6 根引脚。

4) 有些晶体管外壳上需要加装散热片，这主要是功率放大管。

## 5. 低频小功率晶体管

如图 2-138 所示是低频小功率晶体管实物图，低频小功率晶体管一般指特征频率在 3MHz 以下，功率小于 1W 的晶体管，一般作为小信号放大用。

## 6. 高频小功率晶体管

如图 2-139 所示是高频小功率晶体管实物图，高频小功率晶体管一般指特征频率大于 3MHz，功率小于 1W 的晶体管，主要用于高频振荡、放大电路中。

## 7. 低频大功率晶体管

如图 2-140 所示是低频大功率晶体管实物图，低频大功率晶体管指特征频率小于 3MHz，功率大于 1W 的晶体管。低频大功率晶体管品种比较多，主要应用于电子音响设备的低频功率放大电路中，用于各种大电流输出稳压电源中作为调整管。

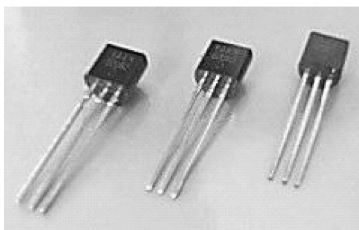


图 2-138 示意图

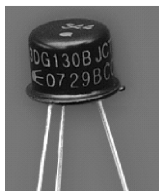


图 2-139 示意图

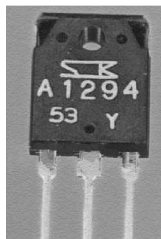


图 2-140 示意图

如图 2-141 所示是金属封装大功率晶体管，体积较大，结构为帽子形状，帽子顶部用来安装散热片，其金属的外壳本身就是一个散热部件。两个孔用来固定晶体管。

这种金属封装的晶体管只有基极和发射极两根引脚，集电极就是晶体管的金属外壳。

## 8. 高频大功率晶体管

如图 2-142 所示是高频大功率晶体管实物图，高频大功率晶体管指特征频率大于 3MHz，功率大于 1W 的晶体管，主要用于通信等设备中，作为功率驱动、放大。

## 9. 开关晶体管

如图 2-143 所示是开关晶体管实物图，开关晶体管是利用控制饱和区、截止区相互转换而工作

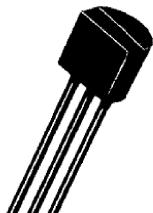


图 2-137 示意图



的。开关晶体管的开关过程需要一定的响应时间，开关响应时间的长短表示了晶体管开关特性的好坏。

### 10. 带阻尼管的晶体管

如图 2-144 所示是带阻尼管的晶体管实物图，它主要在电视机的行输出级电路中，作为行输出晶体管，它将阻尼二极管和电阻封装在管壳内。晶体管基极和发射极之间还接入了一只  $25\Omega$  的小电阻。

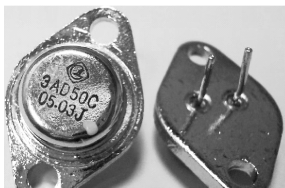


图 2-141 示意图

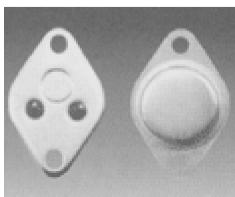


图 2-142 示意图

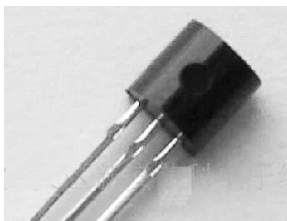


图 2-143 示意图

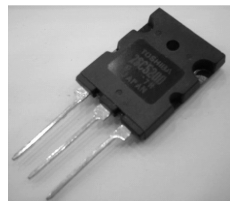


图 2-144 示意图

将阻尼二极管设在行输出管的内部，减小了引线电阻，有利于改善行扫描线性 and 减小行频干扰。基极与发射极之间接入电阻，以适应行输出管工作在高反向耐压状态。

### 11. 带阻晶体管

如图 2-145 所示是带阻晶体管实物图，它是一种内部封装有电阻器的晶体管，它主要构成中速开关管，这种晶体管又称为反相器或倒相器。

带阻晶体管按照晶体管的极性划分有 PNP 型和 NPN 型两种，按照内置几只电阻分有含  $R_1$  和  $R_2$  两种电阻的带阻晶体管和只含一只电阻  $R_1$  的带阻晶体管。

按照封装形式分有 SOT—23 型、TO—92S 型和 M 型多种带阻晶体管。

### 12. 达林顿晶体管

如图 2-146 所示是达林顿晶体管实物图，它又称达林顿结构的复合管。有时简称复合管。这种复合管由内部的两只输出功率大小不等的晶体管按一定接线规律复合而成。

根据内部两只晶体管复合的不同可构成四种具体的达林顿晶体管，同时管内还会有电阻。它主要作为功率放大管和电源调整管。

### 13. 差分对管

差分对管是把两只性能一致的晶体管封装在一起的半导体器件，它能以最简单的方式构成性能优良的差分放大器。

### 14. 对管

如图 2-147 所示是对管实物图，对管就是需要配对的晶体管，它们定放大倍数、频率特性等十分相近的 NPN 型和 PNP 型晶体管，主要应用在甲乙类推挽放大器电路中。

### 15. 光敏晶体管

如图 2-148 所示是光敏晶体管实物图，光敏晶体管和普通晶体管相似，也有电流放大作用，只是它的集电极电流不只是受基极电路和电流控制，同时也受光辐射的控制。通常基极不引出，但一些光敏晶体管的基极有引出，用于温度补偿和附加控制等作用。

当具有光敏特性的 PN 结受到光辐射时，形成光电流，由此产生的光电流由基极进入发射极，从而在集电极回路中得到一个相当于放大了  $\beta$  倍的信号电流。不同材料制成的光敏晶体管具有不同的光谱特性，与光敏二极管相比，具有很大的光电流放大作用，即很高的灵敏度。

### 16. 电力晶体管

电力晶体管按英文 Giant Transistor 直译为巨型晶体管，是一种耐高电压、大电流的双极结型晶体管，所以有时也称为 Power BJT。其特性有：耐压高、电流大、开关特性好，但驱动电路复杂，驱动功率大；GTR 和普通双极结型晶体管的工作原理一样。

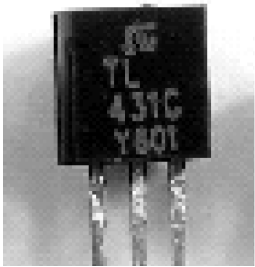


图 2-145 示意图

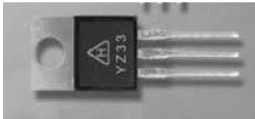


图 2-146 示意图

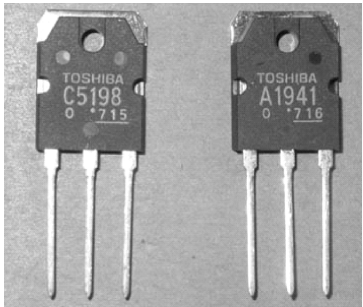


图 2-147 示意图

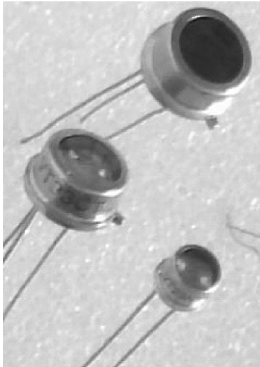


图 2-148 示意图

### 17. 双极结型晶体管

双极结型晶体管（Bipolar Junction Transistor, BJT）又称为晶体管，是最为常见的晶体管。

### 18. 静电感应晶体管

静电感应晶体管（Static Induction Transistor, SIT）诞生于 1970 年，实际上是一种结型场效应晶体管。

### 19. 单电子晶体管

用一个或者少量电子就能记录信号的晶体管。有些实验室宣称已制出室温下工作的单电子晶体管，观察到由电子输运形成的台阶形电流-电压曲线，但离实用还有相当的距离。

### 20. 绝缘栅双极型晶体管

绝缘栅双极型晶体管（IGBT，Insulate-Gate Bipolar Transistor）综合了电力晶体管（GTR，Giant Transistor）和电力场效应晶体管（Power MOSFET）的优点，具有良好的特性，应用领域很广泛。

## 2.4 快速博览集成电路、晶闸管、场效应晶体管和电子管

### ★2.4.1 快速博览集成电路

#### 1. 单列直插集成电路

如图 2-149 所示是单列直插集成电路实物图，它又称为 SIP，它是 Single Inline Package 缩写。

这种封装集成电路的引脚从封装一个侧面引出，排列成一条直线。通常，它们是通孔式的，引脚插入印制电路板的金属孔内。当装配到印制基板上时封装呈侧立状。

#### 2. 双列直插集成电路

如图 2-150 所示是双列直插集成电路实物图，它又称为 DIP，是 Dual Inline Package 的缩写。绝大多数中小规模集成电路均采用这种封装形式，其引脚数一般不超过 100 个。

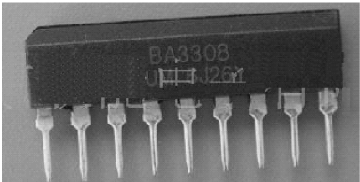


图 2-149 示意图

DIP 封装的芯片有两排引脚，分布于两侧，且成直线平行布置，引脚直径和间距为 2.54 mm，需要插入到具有 DIP 结构的芯片插座上，也可以直接插在有相同焊孔数和几何排列的电路板上进行焊接。





DIP 具有以下特点:

- 1) 适合在印制电路板 (PCB) 上穿孔焊接, 操作方便。
- 2) 芯片面积与封装面积之间的比值较大, 故体积也较大。
- 3) 除外形尺寸及引脚数之外, 并无其他特殊要求。但是, 由于引脚直径和间距都不能太小, PCB 上通孔直径、间距以及布线间距都不能太小, 所以此种封装难以实现高密度安装。

S-DIP 是收缩双列直插式封装, 这一封装类型集成电路的引脚在芯片两侧排列, 引脚节距为 1.778mm。

SK-DIP 是窄型双列直插式封装, 除了芯片的宽度是 DIP 的 1/2 以外, 其他特征与 DIP 相同。

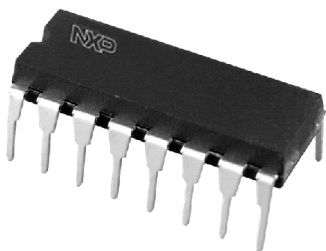


图 2-150 示意图

### 3. DIP-tab 封装集成电路

如图 2-151 所示是 DIP-tab 封装集成电路实物图, 它是在双列直插封装基础上, 多出了一个散热片, 如图中所示。

### 4. ZIP 封装集成电路

如图 2-152 所示是 ZIP 封装集成电路示意图, ZIP 是 Zig-Zag Inline Package 缩写, 意为锯齿型单列式封装, 又称单列曲插。

它的引脚仍是从封装体的一边伸出, 但是排列成锯齿形。这样, 在一个给定的长度范围内, 提高了引脚密度。

引脚中心距通常为 2.54mm。

有时把形状与 ZIP 相同的封装称为 SIP。

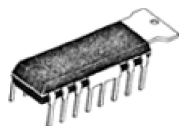
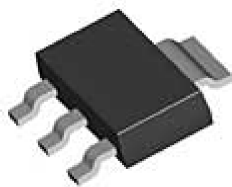


图 2-151 示意图

### 5. SOP 封装集成电路

如图 2-153 所示是 SOP 封装集成电路实物图, SOP 是 Small Out-line Package 缩写, 意为小外形封装, 表面贴装型封装的一种。

这种封装集成电路的引脚数目在 28 个以下, 引脚分布在两边。

引脚节距为 1.27mm。

### 6. SOJ 封装集成电路

如图 2-154 所示是 SOJ 封装集成电路实物图, SOJ 是 Small Out-line J-leaded Package 缩写, 意为 J 形引线小外形封装, 引脚从封装主体两侧引出向下呈 J 字形, 直接粘贴在印制电路板的表面。

引脚节距为 1.27mm。

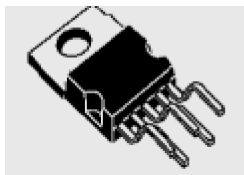


图 2-152 示意图

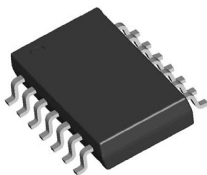


图 2-153 示意图

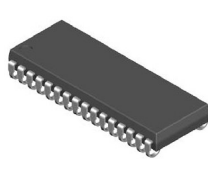


图 2-154 示意图

### 7. HSOP 封装集成电路

如图 2-155 所示是 HSOP 封装集成电示意图, 这也是一种双列型集成电路封装形式, 只是在中间两侧装有散热片。

### 8. QFP 封装集成电路

如图 2-156 所示是 QFP 封装集成电路实物图, QFP 是 Plastic QuadFlat Package 缩写, 意为四方扁平封装。这种封装的芯片引脚之间距离很小, 引脚很细, 一般大规模或超大型集成电路都采用这种封装形式, 其引脚数一般在 100 个以上。



用这种形式封装的芯片必须采用表面安装技术（SMD）将芯片与电路板焊接起来。

采用 SMD 安装的芯片不必在电路板上打孔，一般在电路板表面上有设计好的相应引脚的焊点，将芯片各脚对准相应的焊点。QFP 封装具有以下特点：

- 1) 适用于表面安装技术在 PCB 上安装布线。
- 2) 适合高频使用。
- 3) 操作方便，可靠性高。
- 4) 芯片面积与封装面积之间的比值较小。

### 9. PLCC 封装集成电路

如图 2-157 所示是 PLCC 封装集成电路实物图，PLCC 是 Plastic Leaded Chip Carrier 缩写，意为塑封 J 引线封装。这种封装的集成电路外形呈正方形，四周都有引脚，呈 J 字形。

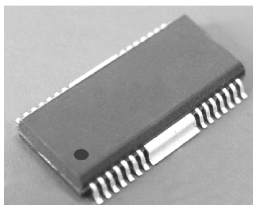


图 2-155 示意图

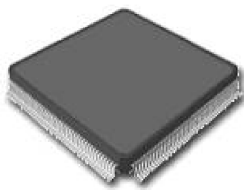


图 2-156 示意图

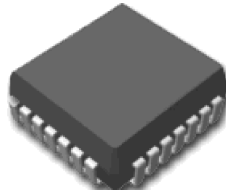


图 2-157 示意图

PLCC 封装具有外形尺寸小、可靠性高、不易变形等优点，但焊接后的外观检查较为困难。

PLCC 封装适合用表面安装技术在 PCB 上安装布线。PLCC 封装的集成电路既可以通过插座焊在板子上，也可以直接焊在板子上。

### 10. PGA 封装集成电路

如图 2-158 所示是 PGA 封装集成电路实物图，PGA 是 Pin Grid Array 缩写，意为引脚网格阵列封装。PGA 封装也叫插针网格阵列封装技术（Ceramic Pin Grid Array Package），目前 CPU 的封装方式基本上是采用 PGA 封装。

插脚节距为 2.54 mm 或 1.27mm，插脚数可多达数百脚，用于高速的且大规模和超大规模集成电路。

它在芯片下方围着多层方阵形的插针，每个方阵形插针是沿芯片的四周，间隔一定距离进行排列的，根据引脚数目的多少，可以围成 2~5 圈。它的引脚看上去呈针状，是用插件的方式和电路板相结合。安装时，将芯片插入专门的 PGA 插座。

PGA 封装具有插拔操作更方便、可靠性高的优点，缺点是耗电量较大。

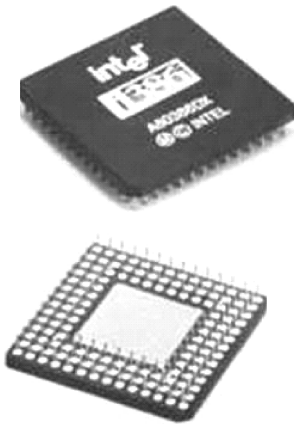


图 2-158 示意图

### 11. BOA 封装集成电路

如图 2-159 所示是 BOA 封装集成电路示意图，BOA 封装又称栅格阵列引脚封装，是一个多层的芯片载体封装。这类封装的引脚在集成电路的“肚皮”底部，引线是以阵列的形式排列的，所以引脚的数目远远超过引脚分布在封装外围的封装。

利用阵列式封装，可以省去电路板多达 70% 的位置。BOA 封装充分利用封装的整个底部来与电路板互连，而且用的不是引脚而是焊锡球，因此还缩短了互连的距离。

引脚定义方法是：行用英文字母 A、B、C、…表示，列用数字 1、2、3、…表示，用行和列的组合来表示引脚，如 A2、B3 等。

### 12. 金属封装集成电路

如图 2-160 所示是封装集成电路实物图。



13. 模拟集成电路

所谓模拟集成电路就是用于模拟电子电路中的集成电路，这类集成电路所处理的是模拟信号，模拟信号是一种连续变化的信号。模拟集成电路按照电路功能分成下列多种。

14. 运算放大器集成电路

如图 2-161 所示是运算放大器集成电路实物图，这是应用量最多的一种模拟集成电路，简称集成运放。它的具体运用也是很多的，它是一种高增益低漂移的直流放大电路。

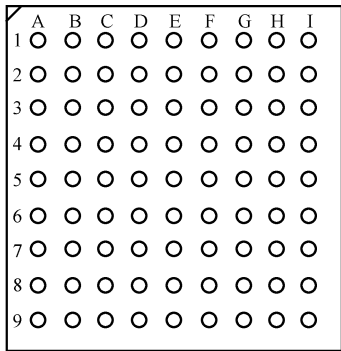


图 2-159 示意图



图 2-160 示意图

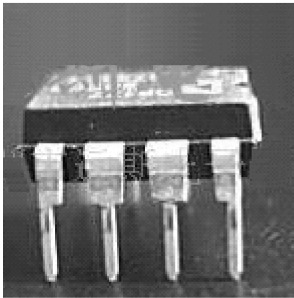


图 2-161 示意图

15. 音响集成电路电路

这是用于各类音响设备中的集成电路，例如用于录音机、收音机、组合音响和音响组合等设备中的集成电路，还有视频播放设备中的音频处理电路。

16. 视频集成电路

这是用于各类视频设备中的集成电路，例如用于电视机、影碟机、录像机等设备中的集成电路。

17. 稳压集成电路

如图 2-162 所示是稳压集成电路实物图，这是用于稳压电路中的集成电路，有各种电压等级的三端稳压集成电路，还有开关稳压集成电路。

18. 非线性集成电路

这是运算集成电路的一种非线性运用方式，此时集成运放处于无反馈或者带正反馈状态，它的输出量与输入量之间不成线性的关系，输出量不是处于正饱和的状态就是处于负饱和的状态。

19. 数字集成电路

如图 2-163 所示是数字集成电路实物图，数字集成电路是用于数字电路中的集成电路，它所处理的都是数字信号，例如影碟机中的解码器集成电路等，数字集成电路的应用十分广泛。

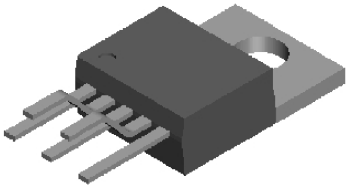
所谓数字信号是一个离散量，具体地讲数字信号的电压或电流在时间和数值上都是离散的，不连续的。例如普通指针式万用表在指示电阻值时，通过指针的摆动和表面的刻度来指示电阻值，可数字式万用表则通过数字来指示电阻值。数字集成电路按功能分有很多，这里举几例说明。

20. 单片机集成电路

如图 2-164 所示是单片机集成电路实物图，单片机是指一个集成在一块芯片上的完整计算机系



a) 三端稳压集成电路



b) 开关稳压集成电路

图 2-162 示意图

统。尽管他的大部分功能集成在一块小芯片上，但是它具有一个完整计算机所需要的大部分部件：CPU、内存、内部和外部总线系统。

单片机也被称为微控制器（Microcontroller），是因为它最早被用在工业控制领域。

单片机广泛应用于仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天、专用设备的智能化管理及过程控制等领域。

21. 存储器集成电路

如图 2-165 所示是存储器集成电路实物图，在数字电路系统中，常用这种具有存储功能的集成电路，它是由门电路和触发器组合起来的集成电路。



图 2-163 示意图



图 2-164 示意图

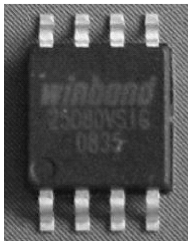


图 2-165 示意图

★2.4.2 快速博览晶闸管

1. 晶闸管外形特征

如图 2-166 所示是晶闸管外形特征实物图，它的形状比较多。



a) 小功率双向晶闸管



b) 平板双向晶闸管



c) 普通晶闸管

图 2-166 示意图

- 1) 它的形状有的像晶体管，有的则与晶体管不像。
- 2) 它与晶体管一样也有三个电极，电极的名称与晶体管叫法不同，分别是阳极、阴极和控制极（又称门极、栅极）。
- 3) 它的体积大小不一，工作电流大的体积也大。

2. 门极关断晶闸管

如图 2-167 所示是门极关断晶闸管实物图，门极关断晶闸管 GTO（Gate Turn-Off Thyristor）也称栅控晶闸管。以 P 型门极为例，它由 PNP 四层半导体材料构成，其三个电极分别为阳极 A、阴极 K 和门极 G。

门极关断晶闸管也属于 PNP 四层三端器件，其结构及等效电路和普通晶闸管相同。门极关断晶闸管与普通晶闸管一样也具有单向导电特性，即当其阳极 A、阴极 K 两端为正向电压，在栅极 G 上加正的触发电压时，晶闸管将导通，电流导通方向为 A→K。

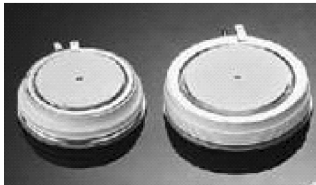


图 2-167 示意图

普通晶闸管在栅极正电压触发后，去掉触发电压后也能维持导通，只有切断电源使正向电流低于维持电流或加上反向电压才能使其关断。但是，门极关断晶闸管导通状态下，如果在其栅极 G 上加一个适当的负电压，则能使导通的晶闸管自行关断，这是它与普通晶闸管的不同之处。



### 3. 逆导晶闸管

逆导晶闸管 RCT (Reverse-Conducting Thyristor) 又称反向导通晶闸管。

逆导晶闸管特点是,在晶闸管的阳极与阴极之间反向并联一只二极管,使阳极与阴极的发射结均呈短路状态。由于这种特殊电路结构,使之具有耐高压、耐高温、关断时间短、通态电压低等优良性能。

逆导晶闸管的关断时间仅几微秒,工作频率达几十千赫,优于快速晶闸管。逆导晶闸管适用于开关电源、UPS 不间断电源中,一只逆导晶闸管可代替晶闸管和续流二极管各一只,电路简单。

逆导晶闸管较普通晶闸管的工作频率高,关断时间短、误动作小,广泛应用于电磁灶、开关电源、电子镇流器、超声波电路中等。

### 4. 双向晶闸管

如图 2-168 所示是双向晶闸管实物图。双向晶闸管由 NPNPN 五层半导体材料制成,有三个电极。双向晶闸管实际是由两个单向晶闸管反向并联构成,双向晶闸管在阴、阳两个电极间接任何极性的工作电压都可以实现触发控制。这两个电极实际上已经没有阳极和阴极之分,通常把这两个主电极称为 T1 电极和 T2 电极,接在 P 型半导体材料上的主电极称为 T1 电极,接在 N 型半导体材料上的电极称为 T2 电极。

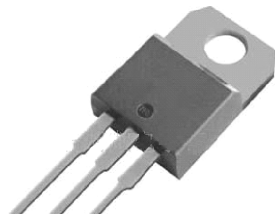


图 2-168 示意图

双向晶闸管另一个电极仍称为控制极 G,或称为门极。

双向晶闸管是为了实现交流功率控制而开发的。它的发展方向是高压,大电流。大功率双向晶闸管主要用于功率调节、电压调节、调光、焊接、温度控制、交流电机调速等方面。

### 5. 温控晶闸管

如图 2-169 所示是温控晶闸管实物图,温控晶闸管是一种新型开关型温度控制器件,也是一种特殊的晶闸管,又被称为温度开关。

温控晶闸管与普通晶闸管的不同之处是无需外加触发电流使其导通,而是受温度控制。当温度低于开关温度(又称阈值温度)时,温控晶闸管处于截止状态。当温度达到或超过开关温度时,温控晶闸管导通。温控晶闸管仍然有控制极,它用来调节温控晶闸管的开关温度。

温控晶闸管与普通晶闸管相同之处是,一旦温控晶闸管导通后,只有导通电流降到维持电流以下时才能关断。另外,普通晶闸管是 P 型控制极(阴极侧受控),温控晶闸管通常为 N 型控制极(阳极侧受控)。

### 6. 光控晶闸管

如图 2-170 所示是光控晶闸管示意图,光控晶闸管由于其控制信号来自光的照射,没有必要再引出控制极,所以只有两个电极(阳极 A 和阴极 C)。但它的结构与普通晶闸管一样,是由四层 PNPN 器件构成。

从外形上看,光控晶闸管亦有受光窗口,还有两条管脚和壳体,酷似光电二极管。

### 7. 快速晶闸管

如图 2-171 所示是快速晶闸管实物图。快速晶闸管是一个 PNPN 四层三端器件,它不仅要有良好的静态特性,尤其要有良好的动态特性。

对工作频率有明确标定的快速晶闸管则称为高频晶闸管,例如 KG50 (20kHz)。

## ★2.4.3 快速博览场效应晶体管

### 1. 场效应晶体管外形特征

如图 2-172 所示是几种场效应晶体管实物图。场效应晶体管(Field Effect Transistor),缩写 FET。场效应晶体管是一种半导体放大器件,它是 20 世纪 60 年代后发展起来的一种器件。

1) 它基本上与晶体管的外形和体积大小相同,所以在没有场效应晶体管型号时不易分清是哪



种场效应晶体管。

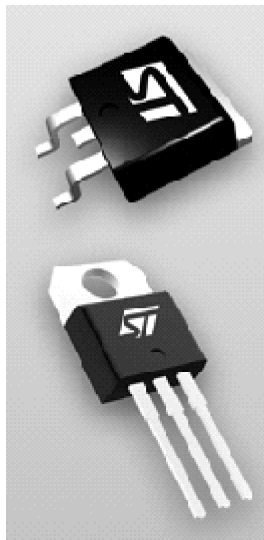


图 2-169 示意图

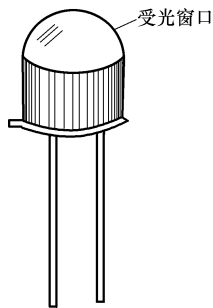


图 2-170 示意图



图 2-171 示意图



a) 塑料封装场效应晶体管



b) 金属封装场效应晶体管



c) MOS场效应晶体管

图 2-172 示意图

2) 场效应晶体管有多种封装形式，如金属封装、塑料封装等。

3) 场效应晶体管一般有三根引脚，还有四根引脚和六根引脚等多种外形。

场效应晶体管不仅具有晶体管的体积小、省电、耐用等优点，更具有输入阻抗很高（ $10^8 \sim 10^9 \Omega$ ）、噪声小、热稳定性好、功耗低、动态范围大、抗辐射能力强、易于集成、没有二次击穿现象、安全工作区域宽等优点，这种场效应晶体管的一些特性与电子管相似。

晶体管的载流子为空穴和电子，所以晶体管又称为双极型晶体管。场效应晶体管载流子只有空穴或只有电子，因此场效应晶体管又称单极晶体管。

## 2. 结型场效应晶体管

场效应晶体管分结型、绝缘栅型两大类。结型场效应晶体管用 JFET（Junction Field Effect Transistor）表示，结型场效应晶体管有两个 PN 结。

## 3. 绝缘栅场效应晶体管

绝缘栅场效应晶体管用 JGFET（Junction-Gate Field Effect Transistor）表示。绝缘栅型场效应晶体管栅极与其他电极完全绝缘。在绝缘栅型场效应晶体管中，应用最为广泛的是 MOS 场效应晶体管，简称 MOS 管（即金属-氧化物-半导体场效应晶体管 MOSFET），还有 PMOS、NMOS 和 VMOS 功率场效应晶体管，以及最新的  $\pi$ MOS 场效应晶体管、VMOS 功率模块等。

各种场效应晶体管按照导电沟道所用的材料不同又分为两类：N 沟道，它的载流子为电子；P 沟道，它的载流子为空穴。





#### 4. 增强型和耗尽型场效应晶体管

增强型和耗尽型的区别是：当  $U_{GS}=0V$  时，源极和漏极之间存在导电沟道，称为耗尽型；必须使  $|U_{GS}|>0$  时才有导电沟道的，称为增强型。

所谓增强型是：当  $U_{GS}=0$  时场效应晶体管是呈截止状态，加上正确的  $U_{GS}$  后，多数载流子被吸引到栅极，从而“增强”了该区域的载流子，形成导电沟道。耗尽型则是指当  $U_{GS}=0$  时即形成沟道，加上正确的  $U_{GS}$  时，能使多数载流子流出沟道，因而“耗尽”了载流子，使场效应晶体管反向截止。

### ★2.4.4 快速博览电子管

#### 1. 电子管

如图 2-173 所示是电子管实物图，电子管也称真空管。电子管按电极数划分有二极管、晶体管、五极管、束射管、复合管等。电子管中的二极管是一种最简单的电子管，它的作用与晶体二极管一样，用来整流。

各种电子管的基本结构是相似的：一个密封的玻璃壳（有少数采用金属壳），壳内高度真空，内部设有电极、灯丝等。

#### 2. 直热式二极管

如图 2-174 所示是直热式二极管实物图。它有两个电极，屏极用字母 a 表示，阴极用字母 k 表示，由于是直热式，所以电子管的灯丝 f 就是阴极，工作时给灯丝通电，由灯丝（阴极）发射热电子。

#### 3. 旁热式二极管

如图 2-175 所示是旁热式二极管实物图，它的阴极与灯丝分开，给灯丝通电后，由灯丝加热阴极，使阴极发射热电子，这种方式称为旁热式。



图 2-173 示意图



图 2-174 示意图

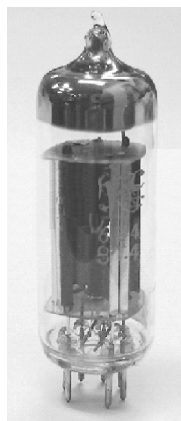


图 2-175 示意图

#### 4. 电子管稳压二极管

如图 2-176 所示是稳压电子管实物图，它的作用相当于晶体稳压二极管，用来起稳压作用。它没有灯丝，在工作时不需要加热。它只有阴极和屏极。

#### 5. 电子管三极管

如图 2-177 所示是电子管三极管实物图，它相当于晶体管，用来起放大作用。从电路符号中可看出，它除了有阴极、屏极和灯丝外，还多了一个栅极 g。这种电子管中，阴极相当于晶体管发射极，屏极相当于集电极，栅极相当于基极。

#### 6. 电子管五极管

如图 2-178 所示是电子管五极管实物图，它也是一种放大管，只是在栅极与屏极之间加了两个

栅极，构成五极管。三个栅极中，第一栅极  $g_1$  称为控制栅极，简称栅极；第二栅极  $g_2$  称为帘栅极，第三栅极  $g_3$  称为抑制栅极。

## 7. 电子管双三极管

如图 2-179 所示是电子管双三极管实物图，它在一个管壳内装了两只三极管，相当于晶体管中的对管。

## 8. “胆王” 845

闻名于世的直热式功放管 845 被誉于“胆王”，如图 2-180 所示。这种电子管作甲类功率放大时，音色华丽脱俗，大动态处犹如风嘶雷吼，浪骇涛惊，柔赋处恍若花垂露滴，鸟倦虫潜，是真正的“王”者之声。

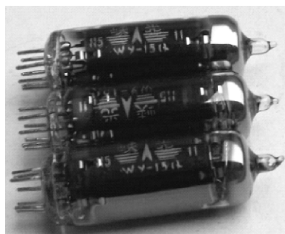


图 2-176 示意图



图 2-177 示意图



图 2-178 示意图



图 2-179 示意图

## 9. “胆后” 7092

直热式功放管 7092 用作甲乙类推挽功率放大时，最能体现迷人风采，纤细处丝丝入扣，高亢处宏伟华丽，被广大音响迷誉为“胆后”美称。

7092 为大功率直热三极管，灯丝电压 6.3V、电流 35A，屏耗为 800W，原来为美国 RCA 制造，现中国有大量生产，供应工业使用。

采用单个管单端放大设计时，能推动大型的低灵敏度现代音箱。如图 2-181 所示是“胆后” 7092 实物照片。

## 10. “胆中白马王子” WE-300B

直接式三极管 WE-300B 是音频专用放大管，用它制成的胆机音质优美、动人，广大发烧友送它“胆中白马王子”雅号。如图 2-182 所示是“胆中白马王子” WE-300B 实物照片。

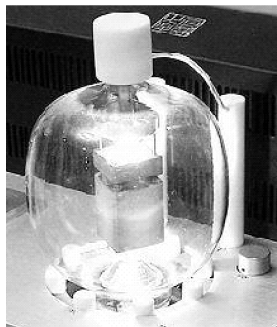


图 2-181 示意图



a) 845



b) “胆王”构成的胆机

图 2-180 示意图



图 2-182 示意图



## 2.5 快速博览接插件和开关件

接插件有两大类：用于电子电器与外部设备连接的接插件和用于电子电器内部电路板之间电路连接的接插件。

### ★2.5.1 快速博览接插件

#### 1. 单声道 $\phi 3.5$ 插头插座

如图 2-183 所示是单声道  $\phi 3.5$  插头插座实物图，这里的插头插座是配套使用的。

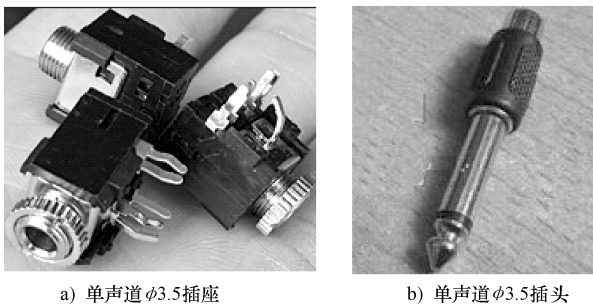


图 2-183 示意图

单声道插座中有三根引脚：

- 1) 地线引脚。它接电路中的地线。
- 2) 芯线引脚。电路中它是信号热端的传输线路，它与地线引脚构成信号电流的回路。
- 3) 动片引脚。它用来作为辅助控制引脚，一些插座电路中该引脚可以不用。

单声道插头中有两根引脚：

- 1) 芯线触点引脚。它在插头的顶部，为金属导体，呈半球型。芯线触点通过插头的内部导体与插头两根引线中的一根相连。
- 2) 地线触点引脚。它是插头的杆体部分，为金属导体，是空心的圆柱形结构，内部是芯线导体，芯线导体与外部地线导体之间是绝缘层，使两导体之间绝缘。插头两根引脚中的另一根是接地线。

#### 2. 双声道 $\phi 3.5$ 插头插座

如图 2-184 所示是双声道  $\phi 3.5$  插头插座实物图，从实物图中可以看出，双声道插头、插座与单声道插头、插座十分相似，只是引脚数目不同。双声道插座上共有 5 根引脚，双声道插头共有 3 个触点，引出 3 根引线。单声道插头共有 2 个触点，引出 2 根引线。

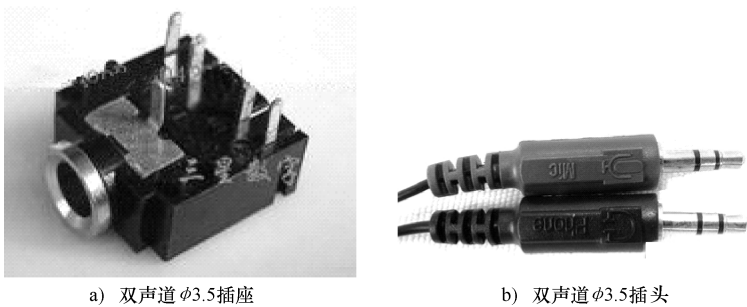


图 2-184 示意图

双声道插头与双声道插座配套使用才能发挥出双声道接插件的功能。如图 2-185 所示是左右声

道位置示意图。

### 3. $\phi 6.5$ 插头插座

如图 2-186 所示是  $\phi 6.5$  插头插座实物图，它与  $\phi 3.5$  插头插座外形基本相同，只是直径不同，也有单声道和双声道之分。

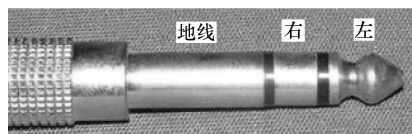


图 2-185 示意图

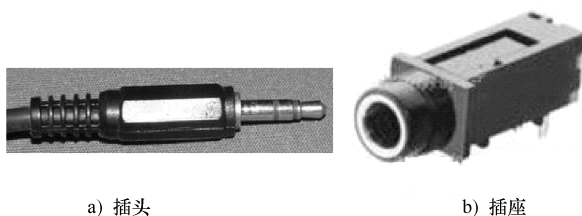


图 2-186 示意图

与这类插头插座相近的还有  $\phi 2.5$  插头插座，它们只是直径小，其他功能一样。

### 4. 针型插头插座

如图 2-187 所示是针型插头插座实物图，针型插头插座广泛用于各种音响和视频设备中，用来传输音频信号、数码音频流和视频信号等。



图 2-187 示意图

针型插头又称莲花插头，或 RCA 插头，这种插头只有两根引脚，所以只能用于信号的不平衡传送，各设备之间的信号传送大多数是以不平衡方式传送的。

- 1) 针型插头插座是圆形的，插座通过螺母紧固在机壳上，插座的头部伸出机壳外。
- 2) 针型插头插座是单声道的，没有双声道的。双声道时用两只这样的插头和插座。
- 3) 插座外面的金属部分是地线，里面的芯线部分；插头外面的金属部分也是地线，里面的也是芯线部分。

### 5. 卡侬插头插座

如图 2-188 所示是卡侬插头插座实物图，卡侬插头又称 XLR 插头，这种插头体积较大，有公插头和母插头之分，两者不能互换使用，国际上通用做法是公插头作为信号的输出端插头，母插头作为信号的输入端插头。

卡侬插头共有 3 根引脚，所以用于平衡式输入或输出，平衡传输比不平衡传输质量要高，主要是抗干扰能力大大增强，只是电路比较复杂。卡侬插头也可以用于不平衡传输的线材上。卡侬插头常用于传声器上，用于专业器材上，对于一些顶级的家用音响器材上也这种插头。

### 6. S 插头插座

如图 2-189 所示是 S 插头插座实物图，S 端子的全称为 S-Video，S 是 Super，意为高清晰度，即为高清晰连接方式。S 端子 1987 年由日本 JVC 公司发明，并首先用于 S-VHS 录像机中，之后广泛用于 LD、VCD、DVD 和大屏幕彩色电视机等视频设备中。



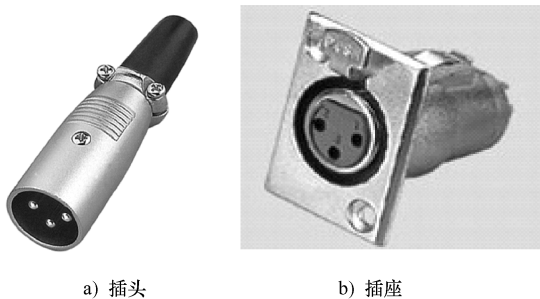


图 2-188 示意图

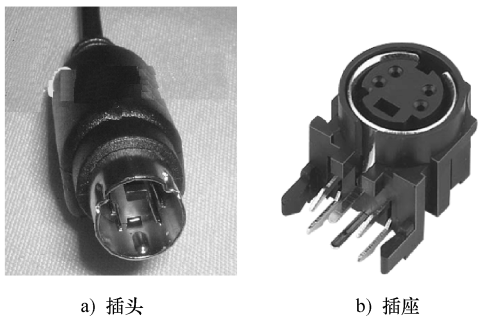


图 2-189 示意图

S 线将亮度和色度信号分开传输，直接将亮度和色度送入各自的通道中，使亮度和色度信号经过了最少的处理电路，两信号之间的相互干扰被降低到最低程度，这样可明显地提高图像的清晰和改善图像的色彩，通过对比发现采用这种连接方式的重放图像其画质自然丰满，画面清亮通透，色彩柔和纯真，显示出 S - Video 迷人魅力。

7. 香蕉插头

如图 2-190 所示是香蕉插头实物图，香蕉插头是一种单芯线材的插头，这种插头一般用于音箱的连接上。

8. 连接叉

如图 2-191 所示是连接叉实物图，连接叉也是一种单芯线材的接插件，用于音箱的连接中。

9. 天线插头匹配器

如图 2-192 所示是天线插头匹配器实物图，它用于电视机中。高频头的高频信号输入端（输入插座）的输入阻抗是  $75\Omega$  的，要求直接与该插座连接的馈线阻抗也是  $75\Omega$  的，否则的话要进行阻抗匹配，这一任务由阻抗变换器来完成。

当采用  $300\Omega$  天线时则要通过阻抗变换器。如若天线与高频头之间的阻抗不匹配，信号传输的损耗大，图像和伴音质量差。

10. 射频同轴连接器

如图 2-193 所示是射频同轴连接器实物图，射频同轴连接器简称 RF 连接器，通常装在电缆上或安装在仪器，作为传输线电气连接或分离的元件。

11. 转换插口

如图 2-194 所示是几种转换插口实物图。



图 2-192 示意图



图 2-193 示意图



图 2-190 示意图



图 2-191 示意图



a) 单声道插头转单莲花口



b) RCA母转RCA公

图 2-194 示意图



12. 电路板接插件

如图 2-195 所示是电路板接插件实物图，它们用来进行两块电路板之间电路的连接，或用于电路板与机器外设备之间的连接，这种接插件装在机器内部的电路板上。

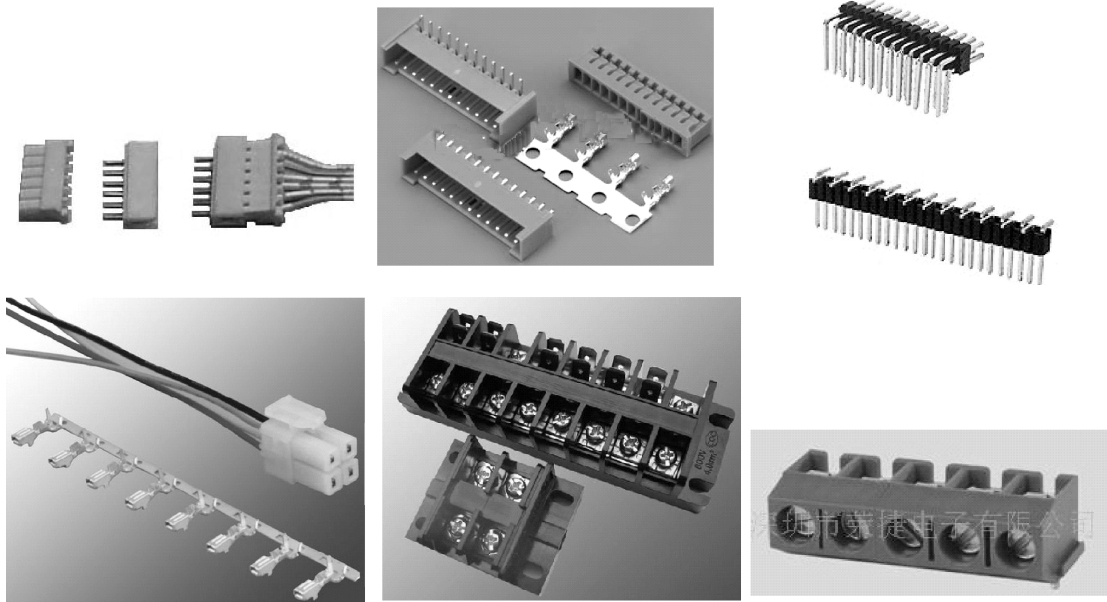


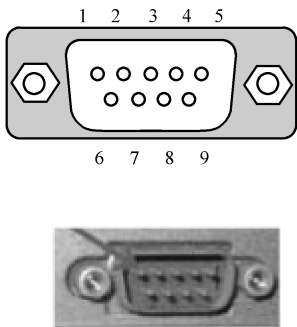
图 2-195 示意图

★2.5.2 快速博览电脑接口和接插件

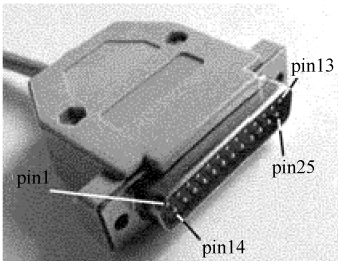
接口类型是指该产品与电脑主机（或笔记本电脑）的连接接口类型。例如常用的有 USB 接口、PCI、PCMCIA 等。计算机配件都是通过一定的接口和计算机连接的，例如鼠标一般是通过 USB 或者 PS/2 接口和计算机连接，网卡一般通过 PCI 接口和计算机连接等。不同的连接线转接卡和计算机连接的接口不相同。

1. 串行接口

如图 2-196 所示是串行接口实物图和引脚作用，串行接口又叫做串行口或串口，也就是 COM 接口。现在的 PC 一般有两个串行口 COM 1 和 COM 2。



a) 9针D形连接器



b) DB25针连接器

| 引脚 | 作用        |
|----|-----------|
| 1  | 数据载波检测    |
| 2  | 接收数据      |
| 3  | 发送数据      |
| 4  | 数终端设备准备就绪 |
| 5  | 信号地线      |
| 6  | 数据准备好     |
| 7  | 请求发送      |
| 8  | 清除发送      |
| 9  | 铃声指示      |

图 2-196 示意图

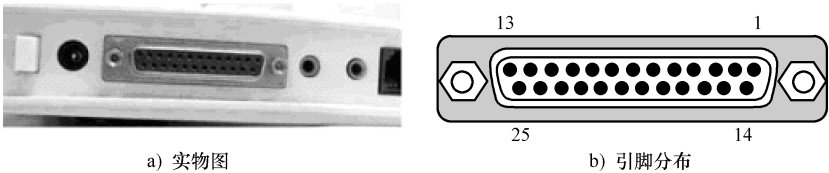
串行口不同于并行口之处在于它的数据和控制信息是一位接一位地传出去。虽然这样速度会慢一些，但传送距离较并行口更长，因此若要进行较长距离的通信时，应使用串行口。

通常 COM 1 使用的是 9 针 D 形连接器，也称之为 RS-232 接口，而 COM 2 有的使用的是老式的 DB25 针连接器，也称之为 RS-422 接口，不过目前已经很少使用。

串口的数据传输率是 115 ~ 230kbit/s，串口一般用来连接鼠标和外置 Modem 以及老式摄像头和写字板等设备，目前部分新主板已开始取消该接口。该接口也可以用来与单片机之间通信。

2. 并行接口

如图 2-197 所示是并行接口实物图和引脚作用，并行接口简称并行口或并口，也就是 LPT 接口，是采用并行通信协议的扩展接口。并口的数据传输率比串口快 8 倍，标准并口的数据传输率为 1Mbit/s，一般用来连接打印机、扫描仪等，所以并口又被称为打印口。



| 引脚 | 作用   | 引脚 | 作用   | 引脚 | 作用 |
|----|------|----|------|----|----|
| 1  | 选通   | 10 | 确认   | 19 | 地  |
| 2  | 数据 0 | 11 | 忙    | 20 | 地  |
| 3  | 数据 1 | 12 | 缺纸   | 21 | 地  |
| 4  | 数据 2 | 13 | 选择   | 22 | 地  |
| 5  | 数据 3 | 14 | 自动换行 | 23 | 地  |
| 6  | 数据 4 | 15 | 错误   | 24 | 地  |
| 7  | 数据 5 | 16 | 初始化  | 25 | 地  |
| 8  | 数据 6 | 17 | 选择输入 |    |    |
| 9  | 数据 7 | 18 | 地    |    |    |

图 2-197 示意图

并行接口采用的是 25 针 D 形接头。所谓“并行”，是指 8 位数据同时通过并行线进行传送，这样数据传送速度大大提高，但并行传送的线路长度受到限制，因为长度增加，干扰就会增加，数据也就容易出错。目前计算机基本上都配有并口。

3. USB 接口

如图 2-198 所示是 USB 接口实物图和引脚作用，USB 是英文 Universal Serial Bus 的缩写，中文含义是“通用串行总线”。它不是一种新的总线标准，而是应用在 PC 领域的接口技术。USB 是在 1994 年底由英特尔、康柏、IBM、Microsoft 等多家公司联合提出的。

USB 具有传输速度快（USB1.1 是 12Mbit/s，USB2.0 是 480Mbit/s），使用方便，支持热插拔，连接灵活，独立供电等优点，可以连接鼠标、键盘、打印机、扫描仪、摄像头、闪存盘、MP3 机等几乎所有的外部设备。

USB 接口有 3 种类型：Type A：一般用于 PC，Type B：一般用于 USB 设备，Mini-USB：一般用于数码相机、数码摄像机、测量仪器以及移动硬盘等。

4. PS/2 鼠标接口

如图 2-199 所示是 PS/2 鼠标接口实物图，它用来接入 2 鼠标。

5. RJ45 接口

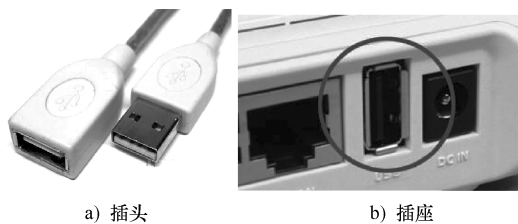
如图 2-200 所示是 RJ45 接口实物图，它用来接入网线。

6. 电源接口

如图 2-201 所示是电源接口示意图和引脚作用。

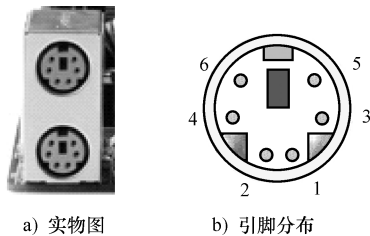
7. 双 12V 电源插口

如图 2-202 所示是双 12V 电源插口示意图。



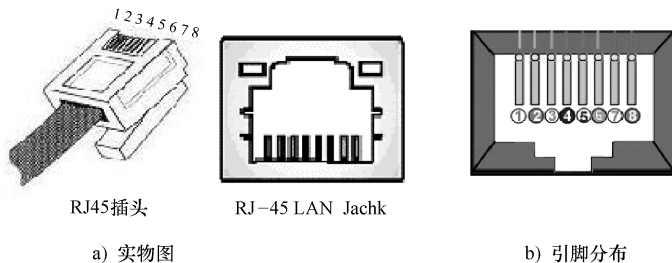
| 引脚 | 作用 |
|----|----|
| 1  | 电源 |
| 2  | 数据 |
| 3  | 数据 |
| 4  | 地  |

图 2-198 示意图



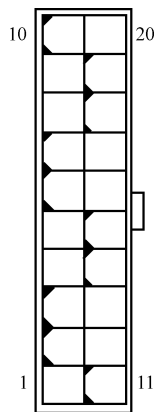
| 引脚 | 作用     |
|----|--------|
| 1  | 数据     |
| 2  | 未连接    |
| 3  | 地      |
| 4  | 电源 +5V |
| 5  | 时钟     |
| 6  | 未连接    |

图 2-199 示意图



| 引脚 | 颜色  |
|----|-----|
| ①  | 白/橙 |
| ②  | 橙   |
| ③  | 白/绿 |
| ④  | 蓝   |
| ⑤  | 白/蓝 |
| ⑥  | 绿   |
| ⑦  | 白/棕 |
| ⑧  | 棕   |

图 2-200 示意图

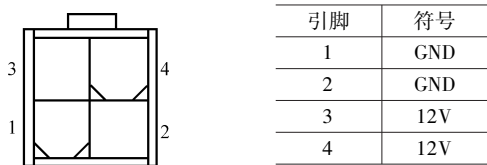


| 引脚 | 符号    | 引脚 | 符号    |
|----|-------|----|-------|
| 1  | 3.3V  | 11 | 3.3V  |
| 2  | 3.3V  | 12 | -12V  |
| 3  | GND   | 13 | GND   |
| 4  | 5V    | 14 | PS_ON |
| 5  | GND   | 15 | GND   |
| 6  | 5V    | 16 | GND   |
| 7  | GND   | 17 | GND   |
| 8  | PW_OK | 18 | -5V   |
| 9  | 5V_SB | 19 | 5V    |
| 10 | 12V   | 20 | 5V    |

图 2-201 示意图

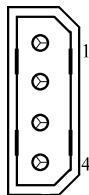
## 8. 12V 和 5V 电源插口

如图 2-203 所示是 12V 和 5V 电源插口示意图。



| 引脚 | 符号  |
|----|-----|
| 1  | GND |
| 2  | GND |
| 3  | 12V |
| 4  | 12V |

图 2-202 示意图



| 引脚 | 符号  |
|----|-----|
| 1  | 5V  |
| 2  | GND |
| 3  | GND |
| 4  | 12V |

图 2-203 示意图



### 9. 电脑主板 CPU 接插槽

如图 2-204 所示是一种 CPU 插槽示意图, CPU 需要通过某个接口与主板连接才能进行工作。

CPU 经过这么多年的发展, 采用的接口方式有引脚式、卡式、触点式、针脚式等。而目前 CPU 的接口都是针脚式接口, 对应到主板上就有相应的插槽类型。不同类型的 CPU 具有不同的 CPU 插槽, 因此选择 CPU, 就必须选择带有与之对应插槽类型的主板。主板 CPU 插槽类型不同, 在插孔数、体积、形状都有变化, 所以不能互相接插。

Socket 478 插槽是目前 Pentium 4 系列处理器所采用的接口类型, 针脚数为 478 针。Socket 478 的 Pentium 4 处理器面积很小, 其针脚排列极为紧密。采用 Socket 478 插槽的主板产品数量众多, 是目前应用最为广泛的插槽类型。

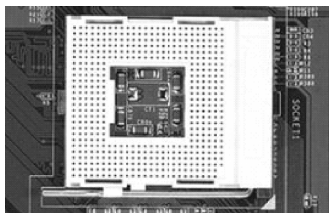


图 2-204 示意图

### 10. ISA 插槽

如图 2-205 所示是 ISA 插槽示意图, 扩展插槽是主板上用于固定扩展卡并将其连接到系统总线上的插槽, 也叫扩展槽、扩充插槽。扩展槽是一种添加或增强电脑特性及功能的方法。

ISA 插槽是基于 ISA 总线 (Industrial Standard Architecture, 工业标准结构总线) 的扩展插槽, 其颜色一般为黑色, 比 PCI 接口插槽要长些, 位于主板的最下端。其工作频率为 8MHz 左右, 为 16 位插槽, 最大传输速率 16Mbit/s, 可插接显卡、声卡、网卡以及所谓的多功能接口卡等扩展插卡。其缺点是 CPU 资源占用太高, 数据传输带宽太小, 是已经被淘汰的插槽接口。

### 11. PCI 插槽

如图 2-206 所示是 PCI 插槽示意图。PCI 插槽是基于 PCI 局部总线 (Peripheral Component Interconnect, 周边元件扩展接口) 的扩展插槽, 其颜色一般为乳白色, 位于主板上 AGP 插槽的下方, ISA 插槽的上方。其位宽为 32 位或 64 位, 工作频率为 33MHz, 最大数据传输速率为 133Mbit/s (32 位) 和 266Mbit/s (64 位)。

它可插接显卡、声卡、网卡、内置 Modem、内置 ADSL Modem、USB2.0 卡、IEEE1394 卡、IDE 接口卡、RAID 卡、电视卡、视频采集卡以及其他种类繁多的扩展卡。PCI 插槽是主板的主要扩展插槽, 通过插接不同的扩展卡可以获得目前电脑能实现的几乎所有外接功能。

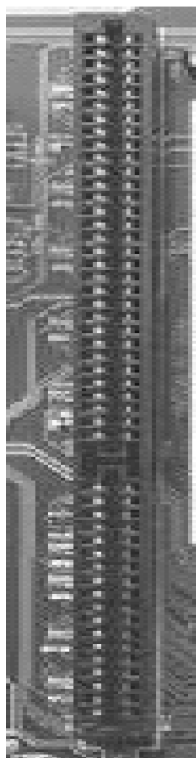


图 2-205 示意图

### 12. AGP 插槽

如图 2-207 所示是 AGP 插槽示意图。AGP (Accelerated Graphics Port) 是在 PCI 总线基础上发展起来的, 主要针对图形显示方面进行优化, 专门用于图形显示卡。

### 13. AMR 插槽

如图 2-208 所示是 AMR 插槽示意图。AMR 插槽的位置一般在主板上 PCI 插槽 (白色) 的附近, 比较短 (大约只有 5cm), 外观呈棕色。AMR (Audio Modem Riser, 声音和调制解调器插卡) 规范。

### 14. CNR 插槽

如图 2-209 所示是 CNR 插槽示意图。为顺应宽带网络技术发展的需求, 弥补 AMR 规范设计上的不足, 英特尔适时推出了 CNR (Communication Network Riser, 通信网络插卡) 标准。

### 15. ACR 插槽

如图 2-210 所示是 ACR 插槽示意图, 图中最左侧的插槽为 ACR 插

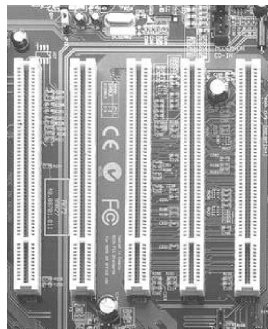


图 2-206 示意图



槽，注意其与右侧 5 个 PCI 插槽的区别。ACR 是 Advanced Communiation Riser（高级通信插卡）的缩写。

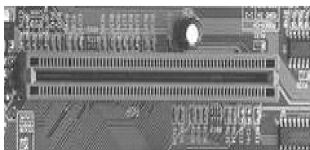


图 2-207 示意图

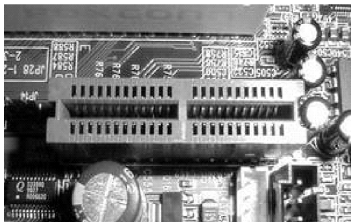


图 2-208 示意图

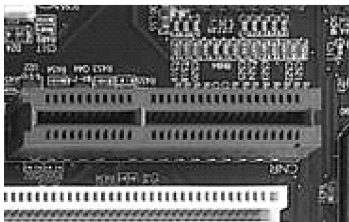


图 2-209 示意图

ACR 插槽大多都设计放在原来 ISA 插槽的地方。ACR 插槽采用 120 针脚设计，兼容普通的 PCI 插槽，但方向正好与之相反，这样可以保证两种类型的插卡不会混淆。ACR 和 CNR 标准都包含了 AMR 标准的全部内容，但这两者并不兼容，甚至可以说是互相排斥。

### 16. PCI Express 插槽

如图 2-211 所示是 PCI Express 插槽示意图。PCI-Express 是最新的总线和接口标准，它原来的名称为“3GIO”，是由英特尔提出的，很明显英特尔的意思是它代表着下一代 I/O 接口标准。交由 PCI-SIG（PCI 特殊兴趣组织）认证发布后才改名为“PCI-Express”。这个新标准将全面取代现行的 PCI 和 AGP，最终实现总线标准的统一。它的主要优势就是数据传输速率高，目前最高可达到 10Gbit/s 以上，而且还有相当大的发展潜力。

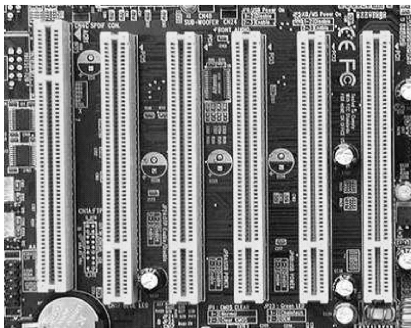


图 2-210 示意图

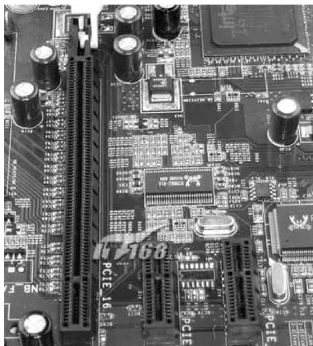


图 2-211 示意图

### 17. Mini PCI 插槽

如图 2-212 所示是 Mini PCI 插槽示意图。Mini PCI 插槽也同样是在 PCI 的基础上发展起来的，最初是应用于笔记本，现在不少台式机也配备了 Mini PCI 插槽。Mini PCI 的定义与 PCI 基本上一致，只是在外型上进行了微缩。目前使用 Mini PCI 插槽的主要有内置的无线网卡、Modem + 网卡、电视卡以及一些多功能扩展卡等硬件设备。

## ★2.5.3 快速博览开关件

开关件是十分常用的电子元器件，几乎所有的电子电器中都要用到各种形式的开关件，它们进行各种信号电路的控制和转换。

### 1. 电子电路中开关件

开关件通俗地讲是能够实现电路开与关的控制元器件，最常见的开关件是家庭中电灯电源开关，它控制电灯的亮与熄灭，它属于强电类的开关件。

由于电子电路的工作电压通常比较低，工作电流比较小，所以电子电路中除电源开关外，都属于处于小信号工作状态下的开关。当然，一些整机功率很小的电子电器，其电源开关也属于小信号





工作类开关件。

由开关件构成的电路称为开关电路。

2. 电子电路中两大类开关

在电子电路中有下列两大类的开关件：

(1) 机械式开关。电子电路中没有加入说明的开关件是这种机械式开关件，由这种开关件构成的电路称为开关电路。

(2) 电子开关。如晶体管构成的电子开关（这样的晶体管称为开关晶体管），或用二极管构成的电子开关（开关二极管），由这类开关器件构成的电路称为电子开关电路。所以，电子电路中的机械式开关电路与电子开关电路不同。

3. 开关件外形特征

开关件外形特征可以用“五花八门”形容一点不过分。

如图 2-213 所示是几种开关件实物图，形形色色的开关件都有不同的具体外形，有的或是体积大小不同，或是开关的引脚数目不同，或是操纵柄操作方式不同。

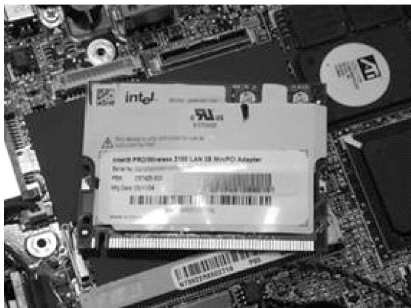


图 2-212 示意图



图 2-213 示意图

尽管各种开关件有许多不同之处，还是有下列一些外形特征的共同点：

1) 一般开关件都有一个操纵柄，它用来控制开关的开与关工作状态。这个操纵柄或体积比较大，或是很小（微型开关），甚至从外形上根本就看不到有一个操纵柄的存在，如图 3.3 所示。开关的操纵柄控制形式有多种，有的是拨动式的，有的则是转动式的，有的是上下按动的，图 2-213 所示为上下按动式的开关。

2) 开关件的引脚至少是两根。只有两根引脚的开关在电路中引脚的接法可以不分。大量应用的开关件引脚多于两根，关于多于两根引脚的开关中各引脚都有它特定的作用，一般情况下各引脚之间不能互换。

3) 开关件的外壳作用之一用来固定开关，外壳与各引脚之间绝缘。同时，开关件的金属外壳接电路中的地线，这样还有屏蔽抗干扰作用。

4. 单刀单掷开关

如图 2-214 所示是单刀单掷开关实物示意图，这种开关中只有一个刀片触点和一个定片触点。刀片触点在开关操纵柄的控制下动作，共有两个状态。

1) 刀片触点与定片触点接通状态，这时为开关接通工作状态。在开关接通后，刀触点与静触点之间的电阻应该小到为零，这是开关的接触电阻，接触电阻越小越好。

2) 刀片触点与定片触点断开状态，这时为开关断开工作状态。在开关断开后，刀触点与静触点之间的电阻应该为无穷大，这是开关的断开电阻，这一电阻越大越好。

单刀单掷开关只能进行电路的通、断控制，即只有通和断两个状态，不能进行更多的转换控制，它实现了开关件中最基本的功能。

### 5. 单刀双掷开关

如图 2-215 所示是单刀双掷开关实物图，单刀双掷开关有一个刀片触点和两个静触点，由于刀片触点可以变动接触位置，所以又称为动片触点。这种开关也有两个工作状态。

1) 当开关操纵柄处于一个位置时，刀片触点与一个定片触点之间呈接通状态，而与另一个定片触点之间呈断开状态，这时开关接通一路电路。

2) 当将操纵柄转换到另一个位置时，开关接通另一路电路。

### 6. 按钮开关

如图 2-216 所示是按钮开关实物图，按钮开关（不闭锁）有两个定片触点、一个刀片，刀片在常态下不与任何一个定片触点接触。

1) 当按下开关的按钮时，开关内部的两个定片触点与刀片（一个金属片）同时接触，两个定片触点之间处于接通状态，开关电路接通，这是开关的一种工作状态。

2) 当手松开按钮后，由于开关不能闭锁，开关的按钮在内部簧片弹性力作用下自动弹起，两个定片触点与刀片断开，开关又处于断开状态。这样的开关是一种常断（开）式开关。

### 7. 轻触式开关

如图 2-217 所示是轻触式开关实物图。使用时轻轻点按开关按钮就可使开关接通，当松开手时开关即断开，其内部结构是靠金属弹片受力弹动来实现通断的。

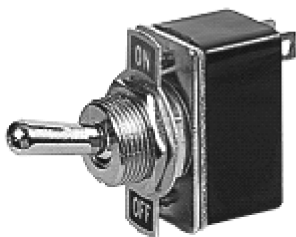


图 2-214 示意图



图 2-215 示意图



图 2-216 示意图

这种开关由于体积小、重量轻，在家用电器方面得到广泛的应用。如彩电按键、影碟机按键、电脑鼠标等。

但是，这种开关也有它不足的地方，频繁的按动会使金属弹片疲劳失去弹性而失效。因此现在大部分电器的按钮都使用导电橡胶来代替，比如电脑键盘、遥控器等。

### 8. 双刀三掷开关

如图 2-218 所示是双刀三掷开关实物图，这种开关的每组刀片都有三种工作状态，操纵柄转换时，两组刀同步转换，刀片触点与其中一个定片接通时，与其他两个定片触点断开。

多刀组式开关中，每一个刀组中可以只有一个定片触点，也可以有多个，三掷开关中有三个定片触点，这样它可以转换三种工作状态。

### 9. 波段开关

波段开关用于多波段收音电路中，它的作用是转换收音机各波段电路，例如具有中波、短波 1、短波 2 和调频波的收音机电路中，通过波段开关来转换收音机中的有关电路，使收音机工作在相应波段上。所以，波段开关是一个多刀多掷开关。

波段开关按照开关结构划分有旋转式和杠杆式两种，这两种波段开关的结构、工作原理有所不同。

波段开关种类较多，按刀数和掷数的不同组合有下列 3 种情况：

- 1) 四刀双掷式开关用于两波段收音电路中。
- 2) 六刀三掷式开关用于三波段收音机电路中。
- 3) 六刀四掷式开关用于四波段收音机电路中。



通常收音电路有几个波段就采用几掷开关，而波段开关刀的数目（即开关中有几组）则是由收音机电路中需要多少转换电路所决定。

### 10. 旋转式波段开关

如图 2-219 所示是旋转式波段开关实物图，操纵柄为旋转式，转动一格为一个波段。

### 11. 拨动式波段开关

如图 2-220 所示是拨动式波段开关实物图，这是目前常见的波段开关，体积比较小，通常为长方体结构，有一个拨动式的操纵柄，有许多的引脚。

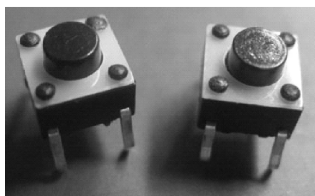


图 2-217 示意图



图 2-218 示意图

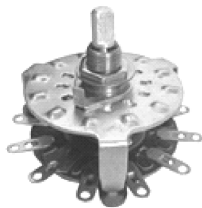


图 2-219 示意图

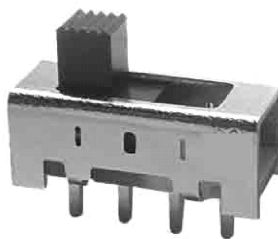


图 2-220 示意图

- 1) 波段开关的操纵柄是伸出收音机机壳的。
- 2) 波段开关有许多引脚，同一组开关中的各引脚是相邻分布的。

### 12. 录放开关

如图 2-221 所示是录放开关实物图。录音机和卡座中用来控制放音和录音的开关称为录放开关。

- 1) 录放开关是一种一次性密封开关，引脚数目多是它的一个特点。

2) 它的引脚特点为一列分布，引脚数必是 3 的倍数。这种开关的引脚分布规律是：从一边起，每 3 根引脚为一组开关，一般录放开关为 5~8 组，每组开关的三根引脚中，中间的一根引脚是刀片触点引脚。如果是 7 组的录放开关，那它共有 21 根引脚。

3) 录放开关的操纵柄不伸出机器的外壳，这一点与一般开关件不同，录放开关的操纵柄与机芯中录音键上的一根杆件相连。

4) 录放开关有放音和录音两种状态，由操纵柄同步控制各组开关件的转换。在常态下操纵柄没有受力，开关处于放音状态；当操纵柄向里推动后，开关处于录音状态。

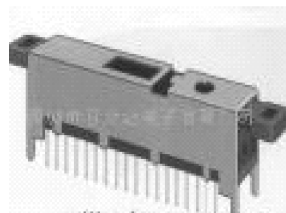


图 2-221 示意图

### 13. 机心开关

如图 2-222 所示是机心开关实物图。录音机卡座中设有一只机心，用来完成磁带的各种运动。在机心上设有一只开关，即机心开关，用来控制机心中直流电机的工作电源。

1) 机心开关装在机心上，在机心的底部，不伸出机器外壳。开关由两片簧片组成，簧片固定在支架上，支架装在机心上。

2) 这一开关的操纵柄比较特殊，与一般开关不同，它的操纵柄与开关本身不相连，而是设在机心上，当按下机心上的放音键、录音键、快进键或快倒键时，机心上的一根杆件推动机心开关处于接通状态。

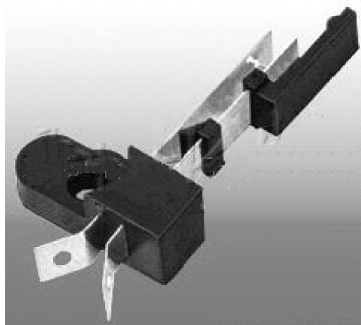


图 2-222 示意图

- 3) 按下停止键后, 这一杆件后退而将机心开关断开。
- 4) 一些档次较高的机心中, 有多个与机心开关相似的簧片式开关, 如放音开关等。

## 2.6 快速博览石英晶体振荡器、陶瓷滤波器、声表面波滤波器和继电器

### ★2.6.1 快速博览石英晶体振荡器、陶瓷滤波器和声表面波滤波器

#### 1. 石英晶振

石英晶体是利用石英材料的压电特性制成的石英晶体谐振器和石英晶体时钟振荡器, 是一种电谐振元件, 俗称晶振。石英晶体构成的谐振器其振荡频率十分准确且稳定度高, 这是它十分突出的优点, 此外还有优良的抗干扰性能。

石英晶体的损耗非常小, 即  $Q$  值非常高。做振荡器时可以产生非常稳定的振荡, 作滤波器时可以获得非常稳定和陡峭的带通或带阻特性曲线。

石英晶振广泛应用于各种电子产品中。例如, 它可以用在彩色电视机的遥控器中, 以及用在色副载波恢复电路中 (用来产生 4.43MHz 的副载波)。此外应用于微控制器集成电路、电脑主板、手机、钟表等各个领域。例如, PC 主板上使用了众多频率的石英晶振: 时钟晶振 (14.318MHz)、实时晶振 (32.768kHz)、声卡晶振 (24.576kHz) 和网卡调制解调器晶振 (25.000kHz)。

#### 2. 石英晶体振荡器外形特征

如图 2-223 所示是几种石英晶振实物照片。石英晶振有多种形状, 无源石英只有两根引脚, 且两根引脚没有极性之分。有源石英晶振通常是四根引脚, 还有 DIP-8 封装、DIP-14 封装。

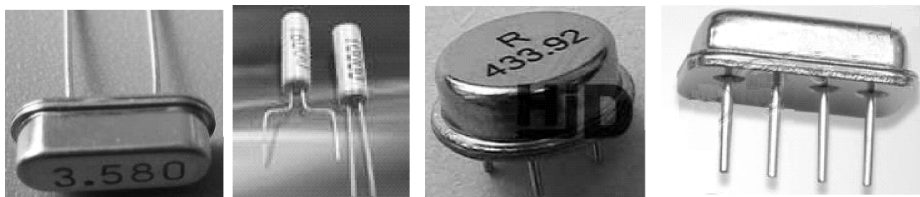


图 2-223 示意图

石英晶体振荡器分非温度补偿式晶体振荡器、温度补偿晶体振荡器 (TCXO)、电压控制晶体振荡器 (VCXO)、恒温控制式晶体振荡器 (OCXO) 和数字化/ $\mu$ p 补偿式晶体振荡器 (DCXO/MCXO) 等。

#### 3. 温度补偿晶体振荡器

它是通过附加的温度补偿电路使由周围温度变化产生的振荡频率变化量削减的一种石英晶体振荡器。它又分直接补偿型 (由热敏电阻和阻容元件组成的温度补偿电路, 在振荡器中与石英晶体振子串联而成的) 和间接补偿型 (又分模拟式和数字式两种)。

#### 4. 电压控制晶体振荡器

它是通过施加外部控制电压使振荡频率可变或是可以调制的石英晶体振荡器。通常是通过调谐电压改变变容二极管的电容来“牵引”石英晶体振子频率。

#### 5. 无源晶振和有源晶振

PC 中还分为无源晶振 Crystal (晶体) 和有源晶振 Oscillator (振荡器) 两种类型。无源晶振是两根引脚的无极性元件, 需要借助于时钟电路才能产生振荡信号, 自身无法振荡起来。有源晶振有 4 只引脚, 是一个完整的振荡器, 其中除了石英晶体外, 还有晶体管和阻容元件, 体积较大。

#### 6. 陶瓷滤波器

陶瓷滤波器通过自身的频率特性, 可以使某类频率信号通过而衰减其他频率的信号, 从而使放





大器获得所规定的频率特性（指幅频特性）。

陶瓷滤波器在彩色电视机中主要用来作为 6.5MHz 的带通滤波器, 6.5MHz 的陷波器和 4.43MHz 的陷波器。

在其他电子设备中也会使用陶瓷滤波器, 只是工作频率不同。

陶瓷滤波器具有体积小、成本低、无须调试、插入损耗小、通频带宽、选择性好、幅频特性和相频特性好、性能稳定可靠等优点。

### 7. 双端陶瓷滤波器

如图 2-224 所示是双端陶瓷滤波器实物图, 双端陶瓷滤波器只有两根引脚, 这两根引脚是不分的。

陶瓷滤波器由一个或多个压电振子组成, 双端陶瓷滤波器等效为一个  $LC$  串联谐振电路。由  $LC$  串联谐振电路特性可知, 谐振时该电路的阻抗最小, 且为纯阻性。不同场合下使用的双端陶瓷滤波器其谐振频率不同。

### 8. 三端陶瓷滤波器

如图 2-225 所示是三端陶瓷滤波器实物图, 三端陶瓷滤波器有三根引脚, 它的三根引脚是要分清的, 相互之间不能搞错。

三端陶瓷滤波器相当于一个双调谐中频变压器, 故比双端陶瓷滤波器的滤波性能要更好些。

### 9. 声表面波滤波器

如图 2-226 所示是表面波滤波器实物图, 声表面波滤波器输入回路有两根引脚, 输出回路也有两根引脚。当有第五根引脚时, 它是外壳的接地引脚。

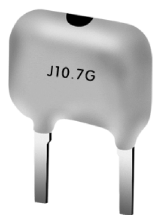


图 2-224 示意图

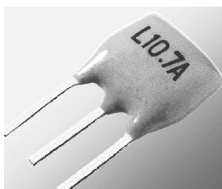
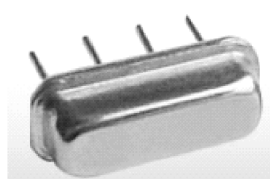
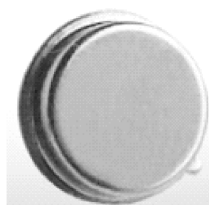


图 2-225 示意图



a) 长方形



b) 圆形

图 2-226 示意图

声表面波滤波器能够一次性形成所需的频率特性, 不需要调试, 这一点比用  $LC$  调谐电路得到所需要的频率特性方便得多。

声表面波滤波器除电视机的中频声表面波滤波器外, 还有许多其他的用途。

### 10. 彩电用声表面波滤波器特点

如图 2-227 所示是彩电用声表面波滤波器实物图。现在彩色电视机中广泛采用声表面波滤波器, 它的特点如下:

- 1) 插入损耗大。即使在声表面波滤波器的工作频率范围内, 信号从输入端传输到输出端会产生很大的损耗, 这是这种滤波器的缺点。
- 2) 输入、输出回路的阻抗匹配不当会引起不良后果。声表面波滤波器接在中频前置放大器（或高频头）与中频放大器输入级电路之间, 它们之间的阻抗要良好匹配, 所以一般声表面波滤波器的输入和输出回路中设有电阻、电容、电感构成的阻抗匹配电路。
- 3) 选择性好。声表面波滤波器的选择性好有利于提高图像和伴音的质量, 减小干扰。
- 4) 稳定性和可靠性好。

## ★2.6.2 快速博览继电器

### 1. 继电器外形特征

如图 2-228 所示是继电器实物图。继电器能够控制一组开关的通与断, 或是通过电信号进行控





制，或是通过磁、声、光、热形式来控制。

- 1) 继电器通常为方块状，外形特征比较明显，所以在电路中比较容易识别。
- 2) 继电器的引脚比较多，大多数为塑料或金属封装。
- 3) 外壳上标注型号和工作电压，有的还会标出开关触点状态示意图，这给识别和使用各种类型继电器提供了方便。

2. 电磁式继电器

如图 2-229 所示是电磁式继电器实物图。继电器是利用电流的效应来闭合或断开电路的装置，用于自动保护和自动控制。



图 2-227 示意图

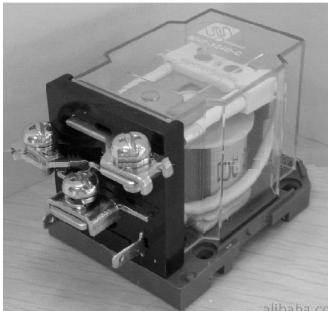


图 2-228 示意图



图 2-229 示意图

在大多数的情况下，继电器就是由一个电磁铁和一个成数个开关触点组成，这个电磁铁的衔铁可以闭合或断开一个或数个开关触点。当电磁铁的绕组中有电流通过时，衔铁被电磁铁吸引，因而就改变了触点的状态。

它包括直流电磁继电器、交流电磁继电器、磁保持继电器、极化继电器、舌簧继电器和节能功率继电器。

- 1) 直流电磁继电器的输入电路中的控制电流为直流。
- 2) 交流电磁继电器的输入电路中的控制电流为交流。
- 3) 磁保持继电器将磁钢引入磁回路，继电器线圈断电后，继电器的衔铁仍能保持在线圈通电时的状态，具有两个稳定状态。

3. 固体继电器

如图 2-230 所示是固体继电器实物图，这种继电器中无机械运动构件便能实现开关转换功能，输入回路和输出回路能够隔离。

和传统电磁继电器比较，固态继电器优点是：工作可靠，寿命长，无噪声，无火花，无电磁干扰，开关速度快，抗干扰能力强，体积小，耐冲击，耐振荡，防爆、防潮、防腐蚀、能与 TTL、DTL、HTL 等逻辑电路兼容，以微小的控制信号达到直接驱动大电流负载。因此在很多领域正逐渐取代电磁继电器。

固态继电器缺点是：存在通态压降，本身有功耗（需相应散热措施）；有断态漏电流；交直流不能通用等。

4. 光耦合器

如图 2-231 所示是光耦合器实物图，光耦合器也称为光隔离器，简称光耦。光耦合器是一种把电子信号转换成为光学信号，然后又恢复回电子信

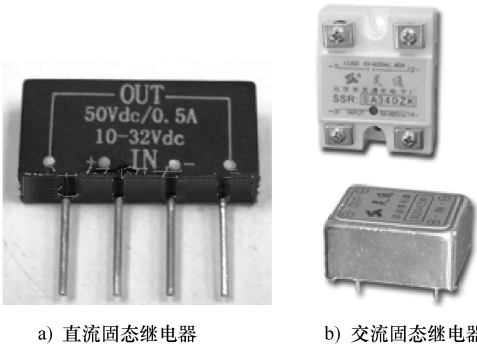


图 2-230 示意图



号,从而使两侧的电路相互绝缘(电气分离)的半导体器件。

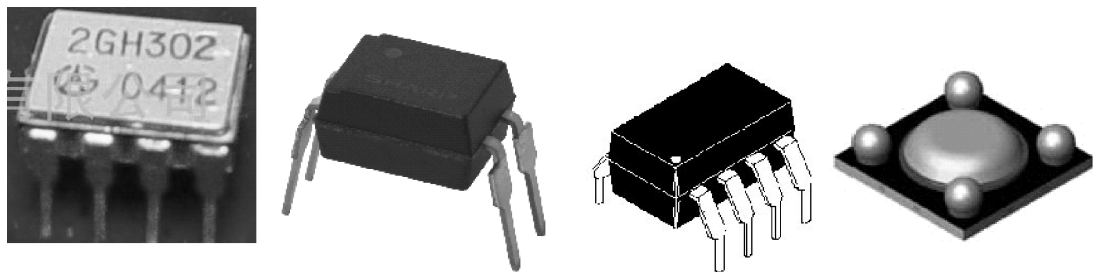


图 2-231 示意图

这是一种以光为耦合媒介,通过光信号的传递来实现输入回路与输出回路之间电隔离的器件,可在电路或系统之间传输电信号,同时确保这些电路或系统彼此间的电绝缘。

- 1) 光耦合器外形以方形为主,有多根引脚。
- 2) 光耦合器 DIP 封装一般有 4、6、8 或 16 引脚等多种。

### 5. 其他各种继电器

- 1) 舌簧继电器。它通过触电簧片和衔铁磁路双重作用的舌簧动作来接通或断开触点。
- 2) 极化继电器。有极化磁场与控制电流通过控制线圈所产生的磁场综合作用而动作的继电器。继电器的动作方向取决于控制线圈中流过的电流方向。
- 3) 温度继电器。当外界温度达到给定值时能动作的继电器,为温度控制的继电器。
- 4) 时间继电器。加上或除去输入控制信号时,输出部分需延时或限时到规定时间才接通或断开其被控线路的继电器,这种继电器具有控制延时功能。
- 5) 高频继电器。用于切换高频、射频电路而具有最小损耗的继电器。
- 6) 微功率继电器。这是小于 0.2A 的继电器。
- 7) 弱功率继电器。这是 0.2~2A 的继电器。
- 8) 中功率继电器。这是 2~10A 的继电器。
- 9) 大功率继电器。这是 10A 以上继电器。
- 10) 密封继电器。采用焊接或其他方法,将触点和线圈等密封在金罩内,其泄漏率较低。
- 11) 塑封继电器。它采用封胶的方法将触点和线圈等密封在塑料罩内,其泄漏率较高。
- 12) 防尘罩继电器。这是用罩壳将触点和线圈等封闭加以防护的继电器。
- 13) 敞开式继电器。这是不用防护罩来保护触点和线圈等的继电器。

此外还有加速度继电器、风速继电器、光继电器、声继电器、热继电器、仪表式继电器、霍尔效应继电器、差动继电器等,它们都或是受加速度、风速、光或声等控制。

## 2.7 快速博览数字式显示器件、显像管和半导体存储器

### ★2.7.1 快速博览数字式显示器件和显像管

#### 1. 数字式显示器

数字设备的应用越来越广泛,许多数字设备中使用了数字式显示器,用来指示数字等信息。

显示电路主要由译码器、驱动器电路和显示器三部分组成。

- (1) 译码器。它的作用是将二进制数“翻译”成平时熟悉的十进制数字和符号。
- (2) 驱动器。经过译码器“翻译”的信号电平还是很小的,一般不能直接去驱动显示器件,为使有足够的电流或电压驱动显示器件,加一级驱动器电路进行电流或电压的放大。

(3) 显示器件。显示电路最终通过显示器表现出文字、数字或符号，显示器件是用来显示文字、数字、符号等的器件。

显示电路根据所采用的数码显示器件不同而不同。数码显示器简称数码管，它是数字式显示系统中是不可缺少的器件，应用极其广泛，发展速度很快，数码管朝着小型化、平面化、多功能化和低耗电方面发展。

2. 字形重叠式数码管

它的特点是将不同的数字、字母等符号的电极重叠起来，当需要哪一个符号显示时，就驱动该符号的电极，使之发光显示，此时其他符号电极不发光。这种数码管有辉光放电管和边光显示管等。

3. 分段式数码管

它的特点是将一个数字分成若干个笔划，通过驱动相应的笔划发光来显示某一个数字，如荧光数码管就是这种类型的。分段式数码管有八段式和七段式两种。在数字显示方面，分段式数码管是主要显示器件。

4. 点矩阵式数码显示器件

它由一些可发光的点阵排列而成，利用发光点不同排列和组合显示数字或字符，如场致发光数字板就是这种显示器件。

5. 分段式发光二极管数码管

如图 2-232 所示是分段式发光二极管数码管实物图，它由半导体发光二极管构成，所以称为发光二极管（LED）数码管，或发光二极管显示器。

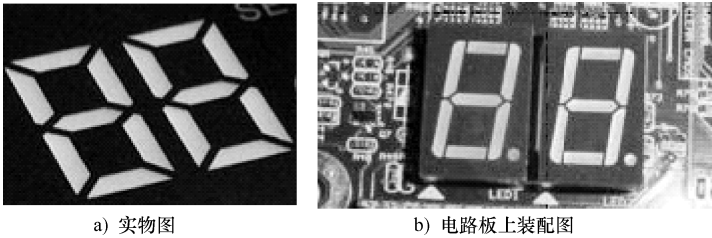


图 2-232 示意图

6. 荧光数码管

如图 2-233 所示是 YS-18-3 型荧光数码管外形和引脚排列示意图。这是一个八段式荧光数码管。

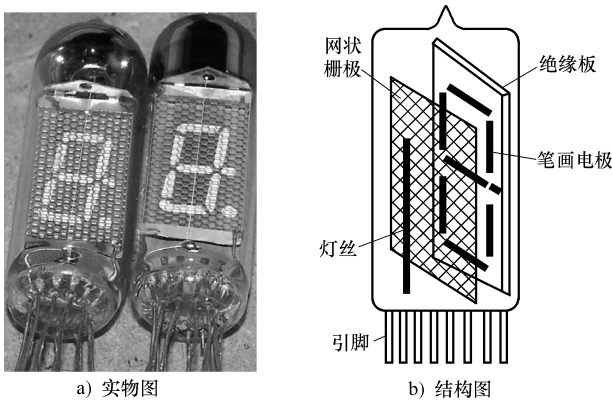


图 2-233 示意图

荧光数码管是一种电真空器件，其工作原理与普通的电子管相似，它的灯丝就是阴极（为直



热式阴极), 当灯丝通电后灯丝就会发热 (即阴极发热), 由于在阴极表面涂有一层逸出功很小的氧化物, 于是在阴极发热后会发射大量的电子。

荧光数码管内设置有一个栅极, 在栅极上加有 +20V 直流电压, 栅极电压相对阴极而言为正电压, 这样阴极发射出来的大量电子受到栅极正电场的吸收而得到加速。

荧光数码管的阳极也是接 +20V 直流电压 (实际电路中栅极与阳极在外电路中直接相连), 这样受到电场加速的绝大多数电子冲过网状的栅极, 高速轰击阳极表面。在阳极表面涂有一层荧光粉 (为氧化锌材料), 荧光粉在受到高速轰击的电子作用下而发出光。

荧光数码管内的笔划就是阳极, 所以八段式荧光数码管就有 8 个阳极。当某一个或某几个阳极受到高速电子轰击后发光, 就能显示出某一个数字。具体有哪几个阳极发光, 这是需要译码器输出的信号来控制。

荧光数码管的优点是工作电压低, 驱动电流小, 显示清晰悦目, 视角大, 工作可靠性好, 寿命长, 但是机械强度差, 使用安装不方便。

### 7. 重叠式辉光数码管

如图 2-234 所示是辉光数码管实物图, 辉光数码管是一种字形重叠式气体放电显示器件。这种数码管与分段式数码管不同, 它将各种不同的数字或字符直接置于玻璃壳内, 通过译码器和驱动器电路直接将某一数字或字符点亮即可显示。

辉光数码管外壳为透明的玻璃材料, 外形矮胖, 管内充有惰性气体, 不需要灯丝加热, 靠辉光放电来显示数码。

在辉光数码管工作时, 阳极上接有 +180V 直流电压, 当某一个阴极在外电路中接地时, 该阴极与阳极之间有 +180V 直流电压, 这样阳极与该阴极之间进行气体放电, 此时该接地阴极就能发出桔红色辉光数字, 达到显示目的。

在某一个阴极接地时, 其他各阴极处于悬空或高电位状态, 它们的阴极不能发光显示。

### 8. 液晶数码管

如图 2-235 所示是液晶数码管实物图。利用液晶的动态散射效应可以制成液晶数码管。液晶数码管有两种: 一是分段式液晶数码管, 二是点阵式液晶数码管。

液晶是液态晶体的简称, 液晶是一种有机化合物。在一定的温度范围内, 液晶具有液体的流动性, 又有晶体的某些光学特性, 液晶的透明度和颜色随电场、光、磁场和温度等外界条件变化而变化。显示器是利用液晶在电场作用下光学性能变化的特性而制成。液晶在电场作用下会出现电光效应。

如果在液晶数码管的正面电极和背面电极之间加上一定大小的直流电压, 那么两电极之间的液晶段由于光学性能的变化而呈现反差, 显示出相应字段。正面各电极上的电压有还是没有由分段式数码管译码器电路控制, 这样就能在液晶数码管中完成分段式数字或字符的显示。

### 9. 液晶显示器

液晶显示器 (LCD) 就是白色光通过红绿蓝滤光片产生红绿蓝三色光, 然后依靠液晶的翻转来实现光通道的控制, 实现彩色显像。液晶与光电器件及寻址控制电路集成在一起即称 LCD。

液晶材料本身并不发光, 所以在显示屏两边都设有作为光源的灯管, 而在液晶显示屏背面有一块背光板 (或称匀光板) 和反光膜, 背光板是由荧光物质组成的可以发射光线, 其作用主要是提供均匀的背景光源。



图 2-234 示意图



图 2-235 示意图



背光板发出的光线在穿过第一层偏振过滤层之后进入包含成千上万液晶液滴的液晶层。

### 10. 液晶显示器特点

1) 没有电磁辐射。液晶显示器在防止辐射方面具有先天的优势,因为它根本就不存在辐射。在电磁波的防范方面,液晶显示器也有自己独特的优势,它采用了严格的密封技术将来自驱动电路的少量电磁波封闭在显示器中。

2) 显示质量高。由于液晶显示器每一个点在收到信号后就一直保持那种色彩和亮度,恒定发光,液晶显示器画质高而且绝对不会闪烁,把眼睛疲劳降到最低。

3) 画面效果好。液晶显示器一开始就使用纯平面的玻璃板,其显示效果是平面直角的。液晶显示器更容易在小面积屏幕上实现高分辨率,例如,17in 的液晶显示器就能很好地实现1280 × 1024 分辨率。

4) 功率消耗小。液晶显示器的功耗主要消耗在其内部的电极和驱动集成电路上,耗电量比传统显示器也要小得多。

5) 可视面积大。对于相同尺寸的显示器来说,液晶显示器的可视面积要更大一些。液晶显示器的可视面积跟它的对角线尺寸相同。

6) 数字式接口。液晶显示器都是数字式的,使用液晶显示器不需要把数字信号转化成模拟信号。理论上,这会使色彩和定位都更加准确完美。

7) 超薄显示成为现实。液晶显示器通过显示屏上的电极控制液晶分子状态来达到显示目的,即使屏幕加大,它的体积也不会成正比地增加,而且在重量上比相同显示面积的传统显示器要轻得多。

### 11. 液晶显示器种类

常见的液晶显示器按物理结构分为四种:

- 1) 扭曲向列型 (TN - Twisted Nematic)。
- 2) 超扭曲向列型 (STN - Super TN)。
- 3) 双层超扭曲向列型 (DSTN - Dual Scan Tortuosity Nomograph)。
- 4) 薄膜晶体管型 (TFT - Thin Film Transistor)。

其中 TN-LCD、STN-LCD 和 DSTN-LCD 属于同一类型,基本显示原理都相同,只是液晶分子的扭曲角度不同而已。STN-LCD 的液晶分子扭曲角度为 180°甚至 270°。

TFT-LCD 则是与前三者 LCD 截然不同的显示方式。

按 LCD 显示技术分有两大类:

- 1) 有源矩阵类黑矩阵。采用防光泄漏的特殊镀膜,结合有源矩阵技术,用以加深黑度、提高对比度、减少高亮眩光的最新显示技术,主要用于高档笔记本电脑。
- 2) 无源矩阵类。如双扫无源矩阵类。

### 12. TN 型液晶显示器

TN 型采用的是液晶显示器中最基本的显示技术。

TN 型的显像原理是:将液晶材料置于两片贴附光轴垂直偏光板的透明导电玻璃间,液晶分子会依附向膜的细沟槽方向,按序旋转排列。

如果电场未形成,光线就会顺利地由偏光板射入,液晶分子将其行进方向旋转,然后从另一边射出。

如果在两片导电玻璃通电之后,玻璃间就会形成电场,进而影响其间液晶分子的排列,使分子棒进行扭转,光线便无法穿透,进而遮住光源。这样得到光暗对比的现象,就叫做扭转式向列场效应,简称 TNFE (twisted nematic field effect)。

电子领域中所用的液晶显示器,几乎都是用扭转式向列场效应原理制成的。

它是目前应用最广泛的 LCD 类型,价格便宜,广泛应用于手表、时钟、电子计算机、电话、传真机等一般家电用品的数字显示。





这种 LCD 的分辨率很低,一般用于显示数字、字符等,很难用于显示图形图像。

### 13. STN 型液晶显示器

STN 型的显示原理与 TN 相类似。不同的是, TN 扭转式向列场效应的液晶分子是将入射光旋转  $90^\circ$ , 而 STN 超扭转式向列场效应是将入射光旋转  $180^\circ \sim 270^\circ$ 。

单纯的 TN 液晶显示器本身只有明暗两种情形(或称黑白),并没有办法做到色彩的变化。

STN 液晶显示器由于液晶材料的关系,以及光线的干涉现象,因此显示的色调都以淡绿色和橘色为主。

如果在传统单色 STN 液晶显示器加上一彩色滤光片(color filter),并将单色显示矩阵的任一像素(pixel)分成三个子像素(sub-pixel),分别通过彩色滤光片显示红、黄、蓝三原色,再经由三原色比例的调和,也可以显示出全彩模式的色彩。

STN-LCD 在分辨率和色彩数目上都受到限制,应用也局限在一些对图像分辨率和色彩要求不是很高的领域。

当前以移动电话、PDA、掌上型电脑、汽车导航系统、电子辞典等高品质产品之中小尺寸电子显示应用为主。

STN 型液晶显示器也是采用单纯矩阵驱动方式。

### 14. DSTN STN 型液晶显示器

DSTN 是通过双扫描方式来扫描扭曲向列型液晶显示器。由于 DSTN 采用双扫描技术,因此显示效果相对 STN 来说,有大幅度提高。

现在 STN 主要有 CSTN 和 DSTN 之分。

CSTN 即 Color STN,一般采用传送式(transmissive)照明方式,传送式屏幕要使用外加光源照明,称为背光(backlight),照明光源要安装在 LCD 的背后。

传送式 LCD 在正常光线及暗光线下,显示效果都很好。但在户外,尤其在日光下,很难辨清显示内容而背光需要电源产生照明光线,要消耗电功率。

DSTN(double-layer super-twisted nematic)即双层 STN,也是一种无源显示技术,使用两个显示层。这种显示技术解决了传统 STN 显示器中的漂移问题,而且由于 DSTN 还采用了双扫描技术,因而显示效果较 STN 有大幅度的提高。由于 DSTN 分上下两屏同时扫描,所以在使用中有可能在显示屏中央出现一条亮线。

所谓双扫是指把屏幕水平分为两个区域,上半和下半同时并行扫描,因此当上下更新不同步时,屏幕中央会有一条模糊的水平线。

### 15. TFT 型液晶显示器

TFT 型液晶显示器采用有源矩阵,即薄膜晶体管(TFT—Thin Film Transistor)技术。

TFT 型液晶显示器较为复杂,主要是由:荧光管、导光板、偏光板、滤光板、玻璃基板、配向膜、液晶材料、薄模式晶体管等构成。

首先,液晶显示器必须先利用背光源,也就是荧光灯管投射出光源,这些光源会先经过一个偏光板然后再经过液晶。这时液晶分子的排列方式就会改变穿透液晶的光线角度,然后这些光线还必须经过前方的彩色的滤光膜与另一块偏光板。

因此只要改变刺激液晶的电压值就可以控制最后出现的光线强度与色彩,这样就能在液晶面板上变化出有不同色调的颜色组合了。

FT-LCD 的每个像素点都是由集成在自身上的 TFT 来控制的,它们是有源像素点。因此,不但反应时间可以极大地加快,起码可以到 80ms 左右,对比度和亮度也大大提高,同时分辨率也得到了空前的提升。

因为它具有更高的对比度和更丰富的色彩,荧屏更新频率也更快,所以称之为“真彩”。

在 TFT 型液晶显示器中,信号电流不直接驱动液晶,而是利用电流控制薄膜晶体管的开关状态,因此需要额外电源给薄膜晶体管供电,故其称作有源矩阵 LCD。

TFT 型 LCD 反应时间快、显示品质较佳,适用于大型动画显示,被广泛应用于笔记本电脑、电脑显示器、液晶电视、液晶投影机及各式大型电子显示器产品。

近年来,由于手机、PDA、数码相机及摄像机等手持类设备对显示屏的要求不断提高,TFT 型 LCD 在这些领域也有了很大的应用。

## 16. 等离子体显示器

如图 2-236 所示是等离子体显示器实物图,等离子体显示器简称 PDP (Plasma Display Panel) 是近几年发展起来的新型显示器件,它利用气体放电产生的紫外线激发荧光粉发光显示图像。等离子是一种自发光显示技术,不需要背景光源。

PDP 具有超薄的外形、平面显示、高亮度、重量轻、图像质量高、全彩色显示、不受磁场影响,以及大屏幕化等优点。

PDP 是利用加在阴极和阳极间一定的电压使气体产生辉光放电而制成的,与荧光灯的辉光放电机理相近。

PDP 的发光原理与 CRT 更为接近,属于主动发光。

## 17. 等离子体显示器特点

1) 工作寿命长,是显像管的好几倍,一般的单色 PDP 可达 10 万 h,彩色 PDP 可达 3 万 h 之多。

2) 容易制成大面积的显示屏,现在已经能制成约 70in (英寸) 的大屏幕。

3) 显示屏的厚度很薄,因为 PDP 屏的自身厚度只有 1cm 左右,远远小于显像管的厚度,因此可做成平板式显示器。

4) 具有存储功能,因此它可以工作在存储方式中,使显示屏的亮度得到提高。

5) 无 X 射线辐射。

## 18. 等离子体显示器

1) 它的响应速度和 CRT 几乎完全一样,也就意味着观看高速移动的画面,几乎没有拖尾。

2) 等离子体的色彩更加柔和,亮度适中。

3) PDP 的观看距离近 (42' 约为 1.8 ~ 2.5m), 而且立体感强。

PDP 由于是紫外线激发荧光粉方式,长时间的静止或高亮画面会导致荧光粉的老化,造成亮度衰减 (烧屏)。

## 19. 等离子体显示器种类

PDP 分为直流 (DC) 驱动型和交流 (AC) 驱动型两种不同方式。目前的主流彩色 PDP 为三电极表面交流放电型。

直流型电极与放电气体直接接触,紫外线的产生效率高,但是显示屏的结构比较复杂,在目前商用彩色 PDP 中已很少用。

交流型的电极表面涂敷一层介质层,使其结构类似于一个电容器。交流型 PDP 又分对向放电和表面放电两种。

按类型划分就是下列三种:

1) 脉冲存储直流 PDP。

2) 单基板式 (又称表面放电式) 交流 PDP。

3) 双式 (又称对向放电式) 交流 PDP。

## 20. 有机发光二极管 (OLED)

有机发光二极管 (OLED, Organic Light-Emitting Diode) 又称为有机电激光显示 (Organic Electroluminescence Display, OLED)。

OLED 显示技术与传统的 LCD 显示方式不同之处是无需背光灯,采用非常薄的有机材料涂层和



图 2-236 示意图



玻璃基板，当有电流通过时，这些有机材料就会发光。

目前在 OLED 的两大技术体系中，低分子 OLED 技术为日本掌握，而高分子的 PLED 则由英国的科技公司 CDT 掌握，两者相比 PLED 产品的彩色化上仍有困难。

OLED 构造可以这样形象地说明，即可以将每个 OLED 单元比做一块汉堡包，发光材料就是夹在中间的蔬菜。每个 OLED 的显示单元都能受控制地产生三种不同颜色的光。

因为具备轻薄、省电等特性，OLED 屏幕具备了许多 LCD 不可比拟的优势，如图 2-237 所示是 OLED 屏幕示意图。



图 2-237 OLED 屏幕示意图

### 21. OLED 主要优点

1) 厚度可以小于 1mm，仅为 LCD 屏幕的 1/3，并且重量也更轻。

2) 固态机构，没有液体物质，因此抗振性能更好，不怕摔。

3) 几乎没有可视角度的问题，即使在很大的视角下观看，画面仍然不失真。

4) 响应时间是 LCD 的千分之一，显示运动画面绝对不会有拖影的现象。

5) 发光效率更高，能耗比 LCD 要低。

### 22. OLED 主要缺点

1) 寿命通常只有 5000h，要低于 LCD 至少 1 万 h。

2) 存在色彩纯度不够的问题，不容易显示出鲜艳、浓郁的色彩。

### 23. OLED 的驱动方式

OLED 有源驱动（主动式）和无源驱动（被动式）之分。有源驱动方式下，OLED 单元后有一个薄膜晶体管（TFT），发光单元在 TFT 驱动下点亮。主动式 OLED 应该比被动式 OLED 省电，且显示性能更佳。无源驱动方式下由行列地址选中的单元被点亮。

1) 无源驱动（PM OLED）。无源驱动分为静态驱动电路和动态驱动电路。

① 静态驱动方式。在静态驱动的有机发光显示器件上，一般各有机电致发光像素的阴极是连在一起引出的，各像素的阳极是分立引出的，这就是共阴的连接方式。静态驱动电路一般用于段式显示屏的驱动上。

② 动态驱动方式。在动态驱动的有机发光显示器件上把像素的两个电极做成了矩阵型结构，即水平一组显示像素的同一性质的电极是共用的，纵向一组显示像素的相同性质的另一电极是共用的。通常采用逐行扫描的方式，行扫描，列电极数据电极。

2) 有源驱动（AM OLED）。有源驱动的每个像素配备具有开关功能的低温多晶硅薄膜晶体管，而且每个像素配备一个电荷存储电容，外围驱动电路和显示阵列整个系统集成在同一玻璃基板上。

### 24. 黑白显像管（CRT）

显像管是电视机中最重要的器件。如图 2-238 所示是黑白显像管实物图，目前黑白电视机采用静电聚焦、电磁偏转的显像管，静电聚焦是指利用静电场将电子流会聚成一束。

按照电子枪划分黑白显像管有三极式和四极式两种，23cm 的显像管用三极式的电子枪，31cm、40cm、47cm 等显像管则用四极式的电子枪。

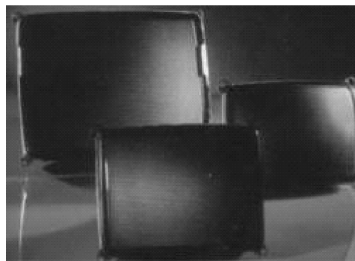


图 2-238 示意图

### 25. 彩色显像管

如图 2-239 所示是彩色显像管实物图，彩色显像管的基本结构和工作原理同黑白显像管相似，它也是用灯丝加热阴极，使

阴极发射电子, 这些电子被加速极加速, 并由聚焦极形式的电子聚焦透镜聚焦成很细的电子束, 再在高压阳极的强电场作用下进一步加速, 电子束轰击荧光粉, 完成电—光转换。

彩色显像管与黑白显像管重要区别如下:

1) 黑白显像管只显示黑白图像, 故每个像素中只有一个荧光点, 而彩色显像管要显示彩色图像, 所以每个像素中有红、绿、蓝三种不同的荧光粉。

2) 彩色显像管有红、绿、蓝三个电子束, 可以采用三枪三束方式, 也可以采用单枪三束方式, 而黑白显像管只有一个电子束。彩色显像管有三个阴极, 有三套视放电路, 黑白显像管只有一个阴极, 只有一套视频放大电路。

3) 彩色显像管利用空间混色原理获得彩色效果。屏幕上每个像素由三种不同颜色的荧光粉点 (或条) 构成, 这样的像素共有 40 多万个。对每个像素而言, 因 3 个不同发光点 (或条) 相距很近, 加上观看距离较远, 便使观看者感觉到是一个点的颜色而不是三个不同色点, 这便是空间混色原理。

### 26. 三种彩色显像管

彩色显像管主要有三种:

1) 三枪三束管。它也是荫罩管。这种显像管是 20 世纪 50 年代发明的, 生产工艺比较成熟, 图像质量较好, 但由于它的会聚电路复杂、调整麻烦, 所以一般彩色电视机中不采用这种彩色显像管, 它主要用于高清晰度电视机和监视器中。

2) 单枪三束管。这是 20 世纪 60 年代初期发明的。它的三束电子束一字形排列, 会聚电路简化了, 调整也简单了一些, 但调整仍然比较麻烦。

3) 自会聚彩色显像管。这是目前大量使用的彩色显像管, 它是 20 世纪 70 年代初发明的, 是在单枪三束彩色显像管基础上发展起来的。它是利用特殊的偏转线圈, 配以显像管内部精密的电子枪, 使三束电子束能较好地实现会聚。因而这种显像管没有会聚电路, 调整方便, 会聚稳定。

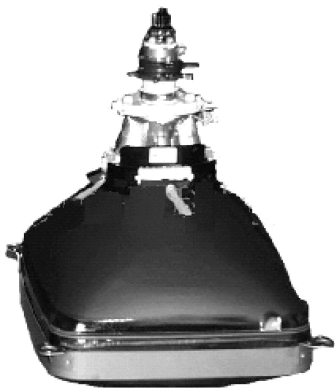


图 2-239 示意图

## ★2.7.2 快速博览半导体存储器

存储器总体上可以分成两类: 一是内存储器, 简称内存。二是外存储器, 简称外存。

存储器除了半导体存储器之外还有许多种, 如磁心存储器、磁盘 (软盘和硬盘) 等, 半导体存储器又称为内存储器, 磁盘、磁带等称为外存储器。

### 1. 内存储器

所谓内存就是与微控制器紧密相连的存储器, 从电脑角度上讲就是设在计算机机箱内部的存储器 (内存条), 从民用电器中的微控制器上讲就是与微控制器集成电路在电路板上直接相连的存储器集成电路。

内存储器的特点是存取的速度很快, 与 CPU 和处理速度同步、相适应, 但是它的存储容量与外存储器相比很小。

### 2. 外存储器

在民用电器的微控制器中不用外存储器。外存储器是电脑中的硬盘、软盘, 外存储器一般不与 CPU 直接打交道, 而是与内存储器直接交换信息。

外存储器的特点是存取速度比较慢, 但是存储容量非常大。

### 3. 读写 (随机) 存储器 (RAM)

随机存储器用英文 RAM 表示, RAM 是英文 Random Access Memory 的缩写。由于这种存储器能够在存储器的任意某一单元进行读或写, 所以又将这种存储器称为读写存取存储器 (RWM, Read Write Memory), 或是随机读写存储器。





所谓“写”就是把指令和数据存入存储器中的操作叫做“写入”，简称写。把指令和数据存储器取出来叫做“读出”，简称读。

随机存储器（RAM）属于挥发性的存储器，当存储器电路断电后，随机存储器（RAM）原先所保存的信息会全部丢失。

#### 4. 只读存储器（ROM）

只读存储器用英文 ROM 表示，ROM 是英文 Read Only Memory 的缩写。

只读存储器（ROM）用来存储输出变量与输入变量之间确定的函数关系。

只读存储器信息存入以后，不能用简单的方法加以更改，在工作时其存储的信息是固定不变的。只读存储器只能用来读出信息，不可以随时写入信息，所以称为只读存储器。

#### 5. 掩模式只读存储器

掩模式只读存储器又称固定只读存储器。掩模式只读存储器在厂里制造时用掩模版控制存储内容，在出厂时这种只读存储器的存储信号已完全固定下来，使用时无法更改，只能读，不能写入。

#### 6. 可编程只读存储器（PROM）

可编程只读存储器用 PROM 表示。这种只读存储器可以由用户自己一次性写入信息，不像掩模式只读存储器出厂后就什么都不能改变了。可编程只读存储器比掩模式只读存储器多了一个写控制电路。

对可编程只读存储器的写入有专门的装置。

#### 7. 可擦写可编程只读存储器（EPROM）

PROM 虽然可以由用户自己来写入信息，但是一旦写入后再不能更改，这在许多情况下使用起来很不方便，而可编程可改写只读存储器要出厂时全部存储单元内容都是 1，用户可更改，即将 1 更改为 0。在更改后，用户还可以将更改的内容擦除，即再将 0 擦除恢复成 1。

可编程可改写只读存储器从性能上可分为下列两种：

- 1) 可擦写可编程只读存储器，用 EPROM 表示。
- 2) 电可改写可编程只读存储器，用 EAROM 表示。

#### 8. 电可改写可编程只读存储器（EAROM）

这种 EAROM 可利用加电方法对存储器的指定存储单元进行擦除和重写，且改写时间很短，而对其他单元的信息没有影响，仍然可以保留。

EAROM 由于改写比较方便，又有只读存储器能够长久保存信息的功能，所以在家用电器中常用，例如它通常可以用于电视接收机遥控系统中，用做电视节目（频道）的信息存储器。

EAROM 和 EPROM 的功能相同，但它更便于擦除和重写，不足之处是速度较慢。

#### 9. 双极型存储器和单极型存储器

1) 双极型存储器。这种类型的存储器一般采用 TTL 或 ECL 电路组成，其优点是存取速度快、价格低，缺点是制造工艺复杂、集成度低、功耗大，由于缺点较多，实际应用不多。

2) 单极型存储器。它又称为 MOS 型（采用 MOS 器件构成电路）。这种存储器的优点是功耗小、集成度高，缺点是存取速度略低。微控制器系统中使用的存储器绝大部分为 MOS 型存储器。

#### 10. 其他存储器

- 1) 挥发性存储器。所谓挥发性存储器就是一断电，存储器内存储的信息全部丢失。
- 2) 不挥发性存储器。所谓不挥发性存储器就是断电后，存储器内部存储的信息仍然保留在其中。
- 3) 静态存储器。所谓静态存储器，在通电状态下，只要不写入新的内容，原信息始终保留在其中，且不变，供读取。
- 4) 动态存储器。所谓动态存储器，所存储的信息随时间而衰减，必须不断定时刷新（重写）。
- 5) 非破坏性读出存储器。这种存储器中的信息被读出后，存储器中信息仍然被保留在其中。
- 6) 破坏性读出存储器，这种存储器中的信息一旦被读出后，存储器中信息就被破坏，必须对



存储器进行原信息的重写（再生）。

## 2.8 快速博览其他几十种元器件和贴片元器件

### ★2.8.1 快速博览其他几十种元器件

#### 1. 直流电机

如图 2-240 所示是直流电机实物图，直流电动机中有许多个线圈牢固地嵌在转子铁心槽中，当导体中通过电流、在磁场中因受力而转动，就带动整个转子旋转。

这种电机的体积不大，有一根转轴伸出外壳，一般情况下外壳背面有一个小孔（转速调整孔）。

#### 2. 单速直流稳速电机

如图 2-241 所示是单速直流稳速电机实物图，单速电机有两根引脚，有正、负极性之分。一根是电源正极引线，一根是接地引线。

#### 3. 双速直流稳速电机

双速电机有四根引脚，其中一根是电源引脚，一根为接地引脚，另两根是转速控制引脚，没有极性之分。

#### 4. 电磁式直流电动机

电磁式直流电动机由定子磁极、转子（电枢）、换向器、电刷、机壳、轴承等构成。

电磁式直流电动机的定子磁极（主磁极）由铁心和励磁绕组构成。根据其励磁方式的不同又可分为串励直流电动机、并励直流电动机、他励直流电动机和复励直流电动机。因励磁方式不同，定子磁极磁通（由定子磁极的励磁线圈通电后产生）的规律也不同。

1）串励直流电动机的励磁绕组与转子绕组之间通过电刷和换向器相串联，励磁电流与电枢电流成正比，定子的磁通量随着励磁电流的增大而增大，转矩近似与电枢电流的二次方成正比，转速随转矩或电流的增加而迅速下降。

2）并励直流电动机的励磁绕组与转子绕组相并联，其励磁电流较恒定，起动转矩与电枢电流成正比，起动电流约为额定电流的 2.5 倍左右。

3）他励直流电动机的励磁绕组接到独立的励磁电源供电，其励磁电流也较恒定，起动转矩与电枢电流成正比。

4）复励直流电动机的定子磁极上除有并励绕组外，还装有与转子绕组串联的串励绕组（其匝数较少）。

#### 5. 永磁式直流电动机

永磁式直流电动机也由定子磁极、转子、电刷、外壳等组成，定子磁极采用永磁体（永久磁钢），有铁氧体、铝镍钴、钕铁硼等材料。按其结构型式可分为圆筒型和瓦块型等几种。

稳速型永磁式直流电动机，采用电子稳速电路或离心式稳速装置。

#### 6. 无刷直流电动机

无刷直流电动机是采用半导体开关器件来实现电子换向的，即用电子开关器件代替传统的接触式换向器和电刷。

它具有可靠性高、无换向火花、机械噪声低等优点，广泛应用于高档录音座、录像机、电子仪器及自动化办公设备中。

无刷直流电动机由永磁体转子、多极绕组定子、位置传感器等组成。

位置传感器有磁敏式、光电式和电磁式三种类型。



图 2-240 示意图



图 2-241 示意图



1) 采用磁敏式位置传感器的无刷直流电动机,其磁敏传感器件(例如霍尔元件、磁敏二极管、磁敏晶体管、磁敏电阻器或专用集成电路等)装在定子组件上,用来检测永磁体、转子旋转时产生的磁场变化。

2) 采用光电式位置传感器的无刷直流电动机,在定子组件上按一定位置配置了光电传感器件,转子上装有遮光板,光源为发光二极管或小灯泡。转子旋转时,由于遮光板的作用,定子上的光敏元器件将会按一定频率间歇产生脉冲信号。

3) 采用电磁式位置传感器的无刷直流电动机,是在定子组件上安装有电磁传感器部件(例如耦合变压器、接近开关、LC 谐振电路等),当永磁体转子位置发生变化时,电磁效应将使电磁传感器产生高频调制信号(其幅值随转子位置而变化)。

## 7. 磁头

如图 2-242 所示是磁头实物图,各类磁头也是用电感器制成的,如用来重放信号的放音磁头,用来记录信号的录音磁头,用来抹音的抹音磁头,还有各类控制磁头等。

1) 磁头的外壳材料有两种,一是塑料外壳,为白色或黑色,这是抹音磁头;二是金属外壳,这是录放磁头或放音磁头、录音磁头。各种磁头的固定支架上有两个螺钉孔。

2) 抹音磁头的两颗固定螺钉全部拧紧,其他磁头中一只螺钉拧紧,另一只螺钉中装有弹簧,不拧紧,这颗螺钉用来调整磁头的方位角,所以称为方位角调整螺钉。

3) 磁头的引脚有多种情况,单声道磁头只有两根引脚,双声道磁头则有四根引脚,四声道磁头有八根引脚。这些引脚在连接时有具体要求,上下方向同一侧的引脚连接方式要相同,如要接地均接地。

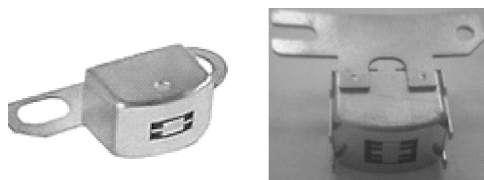


图 2-242 示意图

## 8. 各种磁头

1) 单声道磁头。这种磁头用于单声道机器中,现在比较少见。单声道磁头只有两根引脚。这两根引脚在直流偏磁、直流抹音电路中有极性之分,相互接反将会造成录音声音很小的故障,但对放音没有影响。

2) 双声道磁头。这种磁头用于双声道机器之中,目前主要使用这种磁头。这种磁头有四根引脚,每个声道各两根引脚,每个声道的两根引脚之间不能相互接反,否则放音、录音时的声场位置错误,即左、右声部相反。

3) 四声道磁头。这种磁头用于具有 A、B 面连续放音功能双声道机器中。这种磁头共有八根引脚,每个声道各两根引脚,各声道磁头之间不能接错。

4) 放音磁头。它用于放音卡中。

5) 录音磁头。它在民用机器中不用,主要用于专用机器中作为录音磁头。

6) 录放磁头。它用于录放卡中,作为录放磁头,它能录音也能放音,它的工作状态转换通过一个录放开关实现。

7) 抹音磁头。它用于录放卡中作为抹音磁头,在录音时要先对磁带进行抹音,这由抹音磁头来完成。

8) 旋转式放音磁头。它用于具有 A、B 连续放音功能的机器中。

9) 三合一磁头。它将放音、录音和抹音磁头合三为一,一个磁头具有三种功能。

## 9. 传声器

传声器(Microphone)俗称话筒,音译作麦克风,它是一种电声换能器件,即将声音转换成电信号的器件。

传声器的种类相当多,主要有两大类:一是动圈式传声器,二是电容式传声器(这种驻极体

电容传声器最为常见)。

### 10. 动圈式传声器

如图 2-243 所示是动圈式传声器实物图, 动圈式传声器以人声通过空气使振膜振动, 然后在振膜上的线圈绕组和环绕在动圈麦头的磁铁形成磁力场切割, 形成微弱的电流, 将声音转换成电信号。

动圈式传声器有一个音圈, 音圈固定在振膜上, 在音圈的附近设有一个磁性很强的永久性磁铁, 这一结构相当于扬声器的结构, 振膜相当于纸盆。

动圈式传声器主要特点:

- 1) 结构牢固, 性能稳定, 经久耐用, 价格较低。
- 2) 频率特性良好, 在 50 ~ 15000Hz 频率范围内幅频特性曲线平坦。
- 3) 无须直流工作电压, 使用简便, 噪声小。

### 11. 驻极体电容传声器

如图 2-244 所示是驻极体电容传声器实物图, 驻极体电容式传声器由于输入和输出阻抗很高, 所以要在这种传声器外壳内设置一个场效应晶体管, 作为阻抗转换器, 为此驻极体电容式传声器在工作时需要直流工作电压。

驻极体电容传声器特点:

- 1) 频率特性好, 在音频范围内幅频特性曲线平坦, 这一性能优于动圈式传声器。
- 2) 灵敏度高, 噪声小, 音色柔和。
- 3) 输出信号电平比较大, 失真小, 瞬态响应性能好, 这是动圈式传声器所不具备的优点。
- 4) 这种传声器的缺点是工作性能不够稳定, 低频段灵敏度随着使用时间的增长而下降。另外, 寿命比较短, 需要直流电源, 使用不够方便。



a) 二根引脚



b) 三根引脚

图 2-244 示意图

### 12. 其他传声器

- 1) 静电传声器是以电场变化为原理的传声器, 常见的有电容式和压电式两种。
- 2) 电动传声器是用电磁感应为原理, 以在磁场中运动的导体上获得输出电压的传声器, 常见的有动圈式和带式两种。
- 3) 带式传声器的振动系统是一条悬挂在强磁场中的波状合金箔。它的频率响应极好, 特别是瞬态特性好, 音色柔和自然, 指向性为双向, 但输出电平极低, 而且防风耐振性差, 易损坏, 不宜在室外使用。目前除特殊用途外, 已很少使用。
- 4) 压电传声器是利用压电晶体的压电效应制作。它的输出电平高, 价格低, 但稳定性和频率响应不理想, 不适于高质量工作, 已趋淘汰。

### 13. 扬声器

扬声器是一种将电信号转换成声音的换能器件。

扬声器的种类较多, 而且价格相差很大。扬声器按照换能机理和结构划分有电动式 (动圈式)、电磁式 (舌簧式)、压电式 (晶体或陶瓷)、静电式 (电容式)、电离子式和气动式扬声器等, 其中电动式扬声器由于具有电声性能好、结构牢固、成本低等优点, 被广泛应用于各种音响电器中。

按照工作频率划分有低音扬声器、中音扬声器和高音扬声器, 有的还分成录音机专用、电视机专用、普通和高保真扬声器等。

扬声器按照纸盆形状划分有圆形、椭圆形、双纸盆扬声器等。

### 14. 扬声器外形特征

如图 2-245 所示是几种扬声器实物图。



图 2-243 示意图



图 2-245 示意图

- 1) 扬声器有两个接线引柱，即有两根引线。这两根引脚有时不分正、负极性，但有时要分清。
- 2) 扬声器的外形有圆形和椭圆形两大类。
- 3) 扬声器有一个纸盆（或其他材料的盆），它的颜色通常是黑色的，当采用纸质作为盆时则为白色等其他颜色。
- 4) 扬声器纸盆背面是磁铁，在外磁式扬声器中，用金属螺钉旋具刀去接触磁铁时会感觉到磁性的存在，内磁式扬声器则是没有磁性感觉，但确有磁铁存在。
- 5) 扬声器在机器中装在面板上，或装在音箱内。

### 15. 电动式扬声器

如图 2-246 所示是电动式扬声器实物图，它是应用电动原理的电声换能器件，通入音频电流后它能发出声音，它是目前运用最多、最广泛的扬声器。

### 16. 蜂鸣器

如图 2-247 所示是蜂鸣器实物图，蜂鸣器是一种一体化结构的电子讯响器，采用直流电压供电，广泛应用于计算机、打印机、复印机、报警器、电子玩具、汽车电子设备、电话机、定时器等电子产品中作发声器件。

蜂鸣器主要分为压电式蜂鸣器和电磁式蜂鸣器两种类型。



图 2-246 示意图

### 17. 压电式蜂鸣器

压电式蜂鸣器主要由多谐振荡器、压电蜂鸣片、阻抗匹配器及共鸣箱、外壳等组成。有的压电式蜂鸣器外壳上还装有发光二极管。

多谐振荡器由晶体管或集成电路构成。当接通电源后（1.5 ~ 15V 直流工作电压），多谐振荡器起振，输出 1.5 ~ 2.5kHz 的音频信号，阻抗匹配器推动压电蜂鸣片发声。

### 18. 电磁式蜂鸣器

电磁式蜂鸣器由振荡器、电磁线圈、磁铁、振动膜片及外壳等组成。

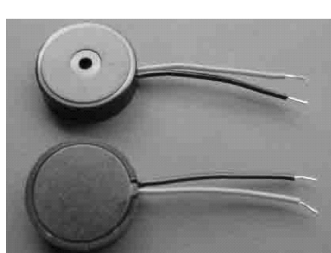


图 2-247 示意图

接通电源后，振荡器产生的音频信号电流通过电磁线圈，使电磁线圈产生磁场。振动膜片在电磁线圈和磁铁的相互作用下，周期性地振动发声。

### 19. 二极管排

如图 2-248 所示是二极管排实物图，它是将 2 只或 2 只以上的二极管封装在一起组成的，其内电路有共阴（将各只二极管的负极接在一起）型、共阳（将各只二极管的正极接在一起）型、串接型和独立脚点型等多种连接形式。

### 20. 排容

如图 2-249 所示是排容实物图，排容又称网络电容，它与排阻相似，只是内部为一定规律的





电容。

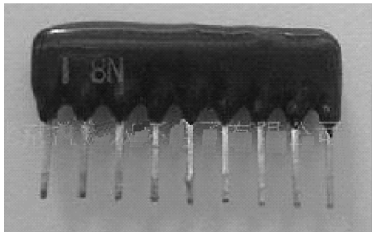


图 2-248 示意图

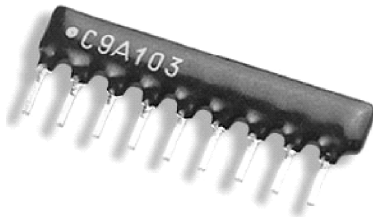


图 2-249 示意图

**21. 电磁干扰 LC 滤波器**

如图 2-250 所示是电磁干扰 LC 滤波器实物图，它广泛用于电子设备、仪器仪表传感器等，抑制射频干扰及电源滤波。

**22. 机械式高频头**

如图 2-251 所示是机械式高频头实物图，黑白电视机通常采用机械式高频头。



图 2-250 示意图

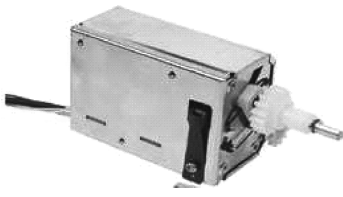


图 2-251 示意图

- 1) 高频头外形是长方形的，体积比较大，铁质外壳，有转柄、塑料齿轮等。
- 2) 高频头上设有插口和引线（通常是三根不同颜色的引线）。
- 3) 高频头固定在机内调谐旋钮附近，根据它的外形特征很容易找到它。注意在全频道的黑白电视机中会有 VHF 高频头（简称 V 头）和 UHF 高频头（简称 U 头），其中 VHF 高频头的体积较小。

天线输入引脚是个插口，输入阻抗为  $75\Omega$ 。VHF 高频头上各引脚（引线）作用：

- 1) 中频信号输出引线用来输出图像和伴音中频信号。
- 2) AGC 电压输入引线用来将直流 AGC 电压加至高频放大管基极。
- 3) 直流工作电压引线用来输入直流工作电压，供给高频头内部的各部分电路。
- 4) 接地引线用来与电视机电路的地线相连。

**23. 电调谐高频头**

如图 2-252 所示是电调谐高频头实物图，全频道电调谐高频头主要用于彩色电视机中和部分黑白电视机中。

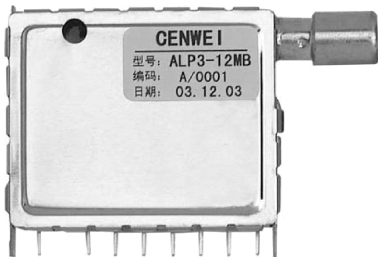
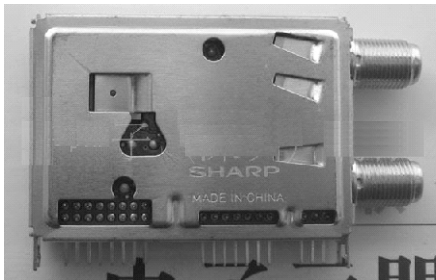


图 2-252 示意图





电调谐高频头外形特征如下:

- 1) 电调谐高频头是一个金属外壳的长方体,一般电调谐高频头有8根左右引脚。
- 2) 这种高频头的体积大小有多种,老式的体积大,新式的体积小。
- 3) 这种高频头的金属外壳是可以拆开的,它的输入和输出插座与外电路相连接。

全频道电调谐高频头能够接收 V、U 频段电视信号。这种高频头与机械式高频头相比,在以下几个方面有着明显的不同:

1) 电调谐高频头是全频道的,将 VHF 和 UHF 高频头装在一个金属外壳内,两部分电路受一个选台板电路的控制。所以电路分析中,多了一个选台板控制电路。

2) 它采用电容调谐方式,但不是用可变电容器,而是用变容二极管。电容调谐就是通过改变调谐回路中谐振电容的容量,实现调谐频率的改变。在电调谐高频头中,各调谐回路中设有变容二极管,调谐时改变变容二极管两端的调谐电压大小,就能改变变容二极管的结电容大小,从而改变调谐回路的谐振频率,这种调谐方式称为电调谐。

3) 为了稳定本机振荡器的工作频率,普遍采用自动频率控制电路(AFC)。

4) 各频段的转换通过开关二极管进行,而不用机械式开关,这样可以大大降低开关干扰和故障发生率。

5) 这种高频头要求有相应的高频头工作控制电路。

6) 由于对电调谐高频头的控制项目比较多,所以高频头的引脚较多,一般高频头有8根左右引脚。

#### 24. 彩色显像管管座

如图 2-253 所示是彩色显像管管座实物图,彩色显像管的管座与黑白显像管的管座相比,性能要求更高,这主要是彩色显像管的有关电极工作电压远比黑白显像管高等原因。

彩色显像管的管座从材料、工艺、结构上都有别于黑白显像管的管座。彩色显像管管座内设有放电环,当电极电压增大到极限值时,它能瞬间放电。这种放电环的放电电压值各型号管座有所不同,在选配时要用同型号的更换。

#### 25. 电子管管座

如图 2-254 所示是电子管管座实物图,它用来装配电子管,电子管管座装配在电路板上,电子管则插入电子管管座中。



图 2-253 示意图



图 2-254 示意图

#### 26. 集成电路插座

如图 2-255 所示是集成电路插座实物图,它用直接焊接在电路板上,集成电路则插入集成电路插座中。

#### 27. 陷波器

如图 2-256 所示是二种陷波器实物图示意图,陷波器用来衰减(吸收)某一频率的信号。它有两根引脚和三根引脚两种。

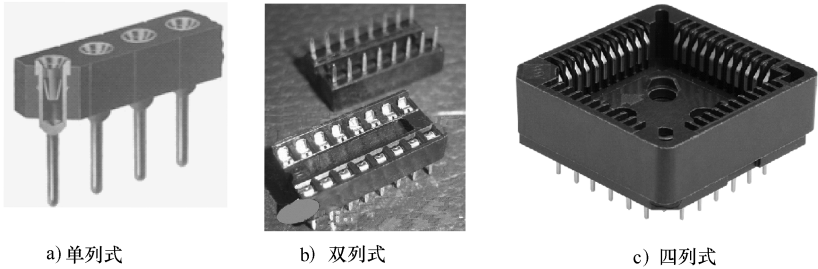


图 2-255 示意图

28. 高通滤波器

如图 2-257 所示是高通滤波器示意图，高通滤波器共有 3 根引脚，信号输入引脚、信号输出引脚和接地引脚。

29. 干簧管

如图 2-258 所示是干簧管实物图，干簧管是一种磁性传感器，它是一种受磁场作用的开关件。

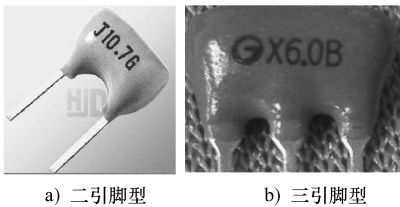


图 2-256 示意图

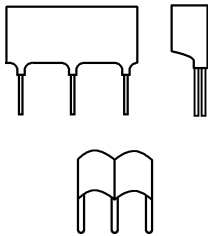


图 2-257 示意图

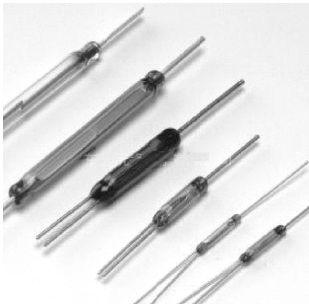


图 2-258 示意图

干簧管按触点结构划分有常开式、常闭式和转换式三种。

30. 霍尔集成电路

如图 2-259 所示是霍尔集成电路实物图，霍尔集成电路是一种利用霍尔效应工作的磁敏元件，由于它由霍尔元件和电子电路构成一体，所以称为霍尔集成电路。霍尔集成电路可以做成接近开关等。

31. 磁性元件

如图 2-260 所示是磁性元件实物图，磁性元件往往与电感、变压器联系起来，它是电感器、变压器的铁心（或磁心）。磁性元件形状非常丰富。

磁性元件按磁性材料划分有两大类：一是铁氧体材料（又称磁心），二是金属材料；按磁特性划分有软磁和硬磁两种。所谓软磁材料是一种保留剩磁能力很差的磁性材料，硬磁材料是一种保留剩磁能力很强的磁性材料。在变压器中，使用软磁材料。

32. 硅光电池

硅光电池也称硅太阳电池。

如图 2-261 所示是硅光电池实物图，它是一个大面积的光能二极管，它可把入射到它表面的光能转化为电能。

硅光电池是用单晶硅制成，它在一块 N 型硅片上用扩散的方法掺入一些 P 型杂质而形成一个大面积的 PN 结，P 层做得很薄，从而使光线能穿透到 PN 结上。

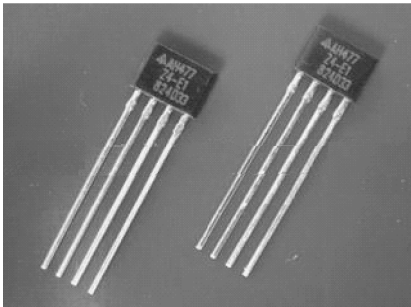


图 2-259 示意图

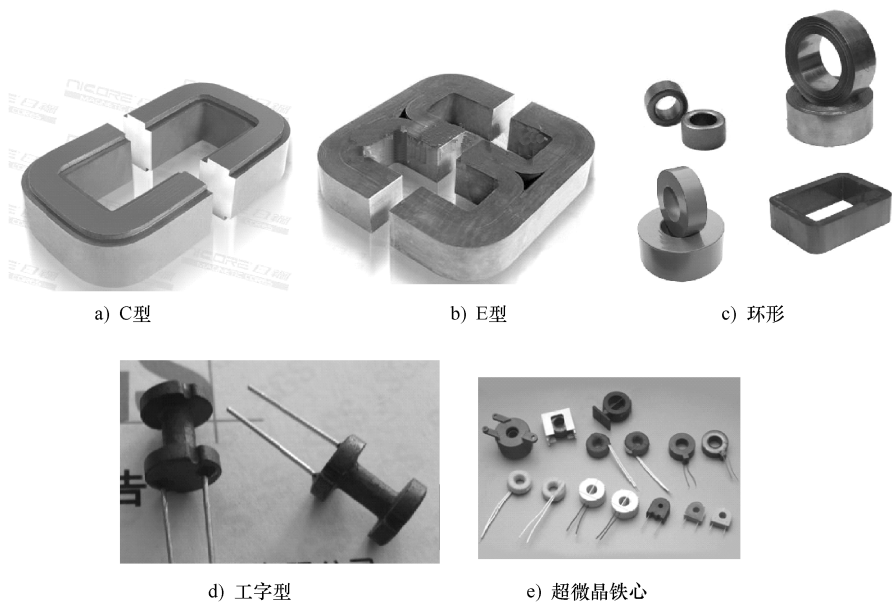


图 2-260 示意图

当光线照射到 PN 结上时，就会在 PN 级两端出现电动势，P 区为正，N 区为负。

33. 散热片

如图 2-262 所示是散热片实物图，散热片是用来帮助工作在大电流、输出大功率信号晶体管和集成电路散热的元件，散热片在家用电器中主要用于下列一些场合：

- 1) 套在功率放大管外壳上作为散热元件。
- 2) 装在功放集成电路上作为散热元件。
- 3) 装在稳压电路中的电源调整管上作为散热元件。
- 4) 装在彩色电视机等电源电路中的开关管上作为散热元件。
- 5) 装在电视机的行输出电路中的行管上作为散热元件等。

34. 电路板

如图 2-263 所示是常见的电路板实物图。电路板的名称很多，如印制电路板、PCB 电路板（Printed Circuie Board），简称电路板。它提供集成电路等各种电子元器件固定装配的机械支撑，实现集成电路等各种电子元器件之间的布线和电气连接等。同时，为自动锡焊提供阻焊图形，为元器件插装、检查、维修提供识别字符和图形。

35. 电路板正面和背面特征

电路板的正面是元器件，其背面是铜箔线路，目前普通电子电器中主要使用单面铜箔电路板，即电路板只有一面上有铜箔线路。

通常，铜箔线路表面往往涂有一层绿色绝缘漆，起绝缘作用，在测试和焊接中要注意，先用刀

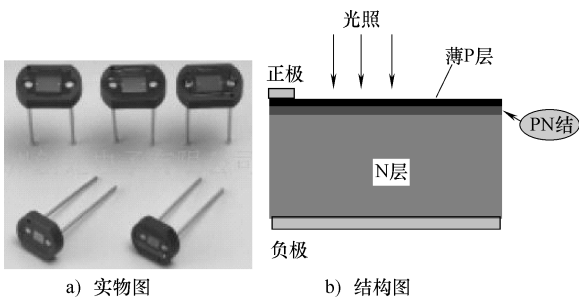


图 2-261 示意图

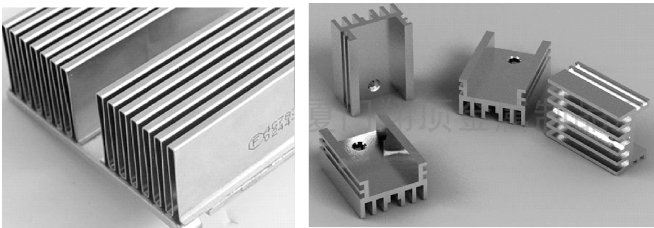
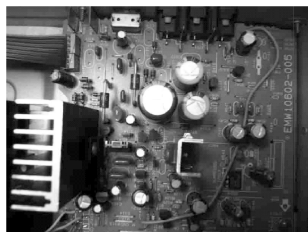
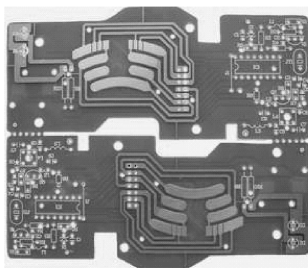


图 2-262 散热片实物图



a) 电路板正面



b) 电路板背面

图 2-263 电路板示意图

片刮掉铜箔线路上绝缘漆后再操作。铜箔线路很薄、很细，容易出现断裂故障，特别是电路板被弯曲时更易损坏，操作中要注意这一点。

电路板的背面有许多形状不同的长条形铜箔线路，它们是用来连接各元器件的线路，铜箔线路是导体，如图 2-264 所示。图中，圆形的是焊点。

一台机器中，可能只有一块电路板，但也可能会有许多块。当有许多块电路板时，往往是某一部分功能电路板装在一起，这对修理来讲是比较方便的，因为检查故障时只要拆下相关的电路板即可。

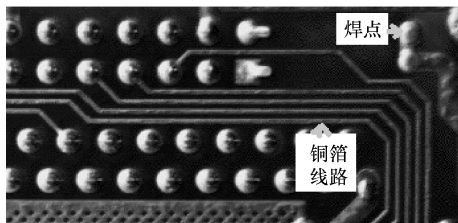


图 2-264 示意图

### 36. 单面印制电路板 (Single-Sided Printed Circuit Boards)

单面电路板是最基本的电路板，如图 2-265 所示是单面板结构示意图。因为单面板在设计线路上有许多严格的限制（只有一面，布线间不能交叉而必须绕独立的路径），所以只有早期和简单的电路才使用这种电路板。

### 37. 双面印制电路板 (Double-Sided Printed Circuit Boards)

如图 2-266 所示是双面板结构示意图，这种电路板的两面都有布线，要使用两面的导线必须要在两面间进行适当的电路连接才行，这种电路间的连接叫做导孔（Via）。因为双面板的布线可以互相交错（可以绕到另一面），它更适合用于比单面板更复杂的电路上。

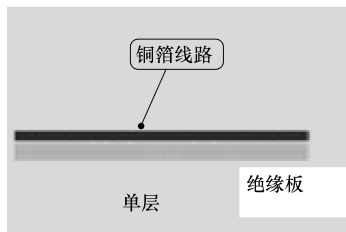


图 2-265 示意图

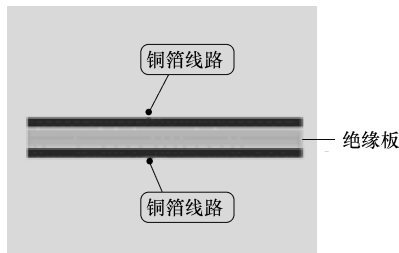


图 2-266 示意图

### 38. 多层印制电路板 (Multi-Layer Printed Circuit Boards)

为了增加可以布线的面积，多层板集合了更多单或双面的布线板，如图 2-267 所示是多层板结构示意图。一般多层板使用数片双面板，并在每层板间放进一层绝缘层后黏牢（压合）。板子的层数就代表了几层独立的布线层，通常层数都是偶数，并且包含最外侧的两层。

在多层电路板中，有的整层都直接连接在地线与电源上，所以将各层分类为信号层（Signal）、电源层（Power）或是地线层（Ground）。如果电路板上的电子元器件需要不同的电源供应，通常这类电路板会有两层以上的电源与地线层。

### 39. 柔性电路板

如图 2-268 所示是柔性电路板实物图，柔性电路板是以聚酰亚胺或聚酯薄膜为基材制成的一种





具有高度可靠性，绝佳的可挠性印制电路板。简称软板或 FPC，具有配线密度高、重量轻、厚度薄的特点。

它主要使用在手机、笔记本电脑、PDA、数码相机、LCM 等很多产品。

#### 40. 面包板

如图 2-269 所示是面包板实物图，面包板又称万用型免焊电路板，它的具体尺寸大小有许多种，它是一种具有多孔插座的插件板。复杂电路、多引脚元器件均可使用。

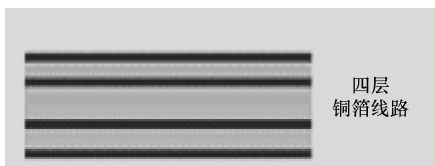


图 2-267 示意图

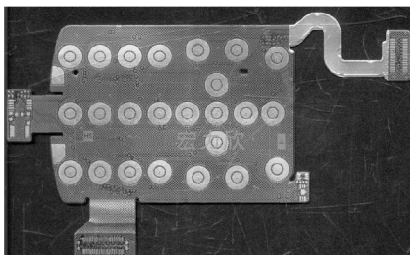


图 2-268 示意图

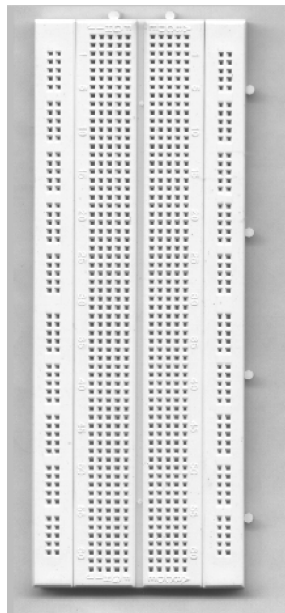


图 2-269 示意图

使用面包板时，各元器件引脚插入面包板的引脚孔中，无需焊接。

#### 41. 一次性万用电路板

如图 2-270 所示是一次性万用电路板实物图，尺寸大小有许多规格，在电子器材商店很容易买到。

一次性万用电路板上已经预先按照标准 IC（2.54mm）间距打好插孔，每一个插孔的后面都有铜箔焊盘，各种元器件都可以很方便地安装上去，并焊接引脚。

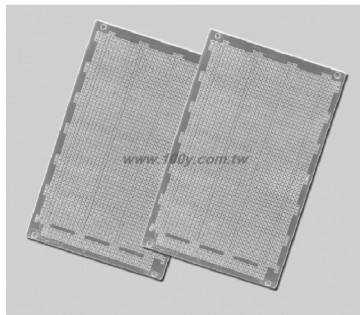


图 2-270 一次性万用电路板实物图

### ★2.8.2 快速博览贴片元器件

#### 1. 贴片电阻器

如图 2-271 所示是普通贴片电阻器实物图。

如图 2-272 所示是抗蚀薄膜超精密贴片电阻器实物图。

如图 2-273 所示是超精密贴片电阻器实物图。



图 2-271 普通贴片电阻器实物图



图 2-272 抗蚀薄膜超精密贴片电阻器实物图



图 2-273 超精密贴片电阻器实物图



如图 2-274 所示是高精度薄膜贴片电阻器实物图。

如图 2-275 所示是 25W 贴片电阻器实物图。

如图 2-276 所示是大功率贴片电阻器实物图。



图 2-274 高精度薄膜贴片电阻器实物图

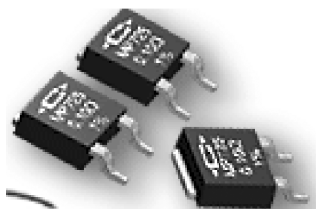


图 2-275 25W 贴片电阻器实物图



图 2-276 大功率贴片电阻器实物图

如图 2-277 所示是贴片电阻整盘包装实物图，其他一些贴片元器件也采用类似包装形式。

## 2. 贴片排阻

贴片排阻又称贴片网络电阻，它的内部有多只电阻器构成特定的电路。如图 2-278 所示是贴片排阻实物图。

## 3. 贴片可变电阻器

可变电阻器是一种阻值可在一定范围内调节的电阻器，如图 2-279 所示是贴片可变电阻器实物图。

## 4. 贴片电位器

电位器的阻值也可以在一定范围内改变，它通常用来做控制器，如音量控制电位器。如图 2-280 所示是贴片电位器实物图。



图 2-277 贴片电阻整盘包装实物图

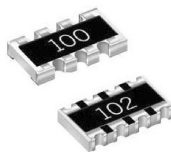


图 2-278 贴片排阻实物图



图 2-279 贴片可变电阻器实物图

## 5. 贴片敏感电阻器

敏感电阻器的阻值受一些因素的影响，如光敏电阻器的阻值大小受光射影响。如图 2-281 所示是贴片压敏电阻器实物图。

如图 2-282 所示是贴片热敏电阻器实物图

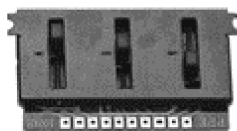


图 2-280 贴片电位器实物图



图 2-281 贴片压敏电阻器实物图

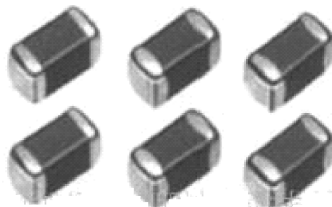


图 2-282 贴片热敏电阻器实物图

## 6. 贴片电容器

如图 2-283 所示是贴片电容器实物图。

如图 2-284 所示是多层贴片独石电容器实物图。



## 7. 贴片排容

如图 2-285 所示是贴片排容实物图。

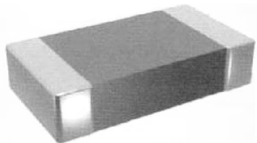


图 2-283 贴片电容器实物图



图 2-284 多层贴片独石电容器实物图



图 2-285 贴片排容实物图

## 8. 贴片可变电容器

可变电容器的容量可以在较小范围内调整。如图 2-286 所示是贴片陶瓷可变电容器实物图。

## 9. 贴片电解电容器

电解电容器是一种容量比较大的电容器，如图 2-287 所示是贴片电解电容器实物图。

如图 2-288 所示是另一种贴片电解电容器实物图。



图 2-286 贴片陶瓷可变电容器实物图

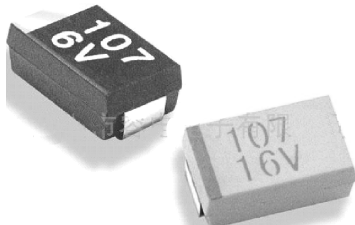


图 2-287 贴片电解电容器实物图

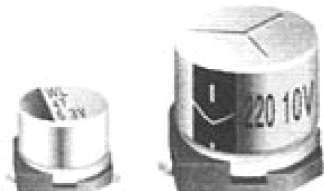


图 2-288 另一种贴片电解电容器实物图

## 10. 贴片电感器

如图 2-289 所示是贴片功率电感器实物图。

如图 2-290 所示是另一种贴片功率电感器实物图。

如图 2-291 所示是另一种贴片空心电感器实物图。



图 2-289 贴片功率电感器实物图



图 2-290 另一种贴片功率电感器实物图

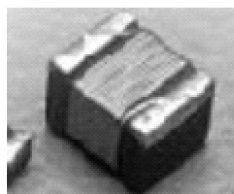


图 2-291 另一种贴片空心电感器实物图

如图 2-292 所示是贴片高频电感器实物图。

## 11. 贴片变压器

如图 2-293 所示是贴片变压器实物图。

如图 2-294 所示是另一种贴片变压器实物图。

## 12. 贴片二极管

1) 如图 2-295 所示是贴片二极管实物图。

2) 如图 2-296 所示是贴片瞬态电压抑制二极管实物图。



图 2-292 贴片高频电感器实物图

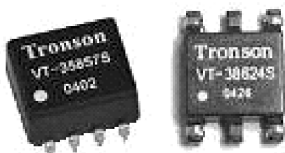


图 2-293 贴片变压器实物图



图 2-294 另一种贴片变压器实物图

当瞬态电压抑制二极管两端经受瞬间的高能量冲击时，它能以极高的速度使其阻抗骤然降低，同时吸收大电流，将其两端间的电压钳位在一个预定的数值上。从而确保后面的电路元器件免受瞬态高能量的冲击而损坏。

3) 如图 2-297 所示是贴片发光二极管实物图。



图 2-295 贴片二极管实物图



图 2-296 贴片瞬态电压抑制二极管实物图



图 2-297 贴片发光二极管实物图

如图 2-298 所示是贴片双色发光二极管实物图。

当发光二极管导通时，它能发出可见光，或是红外光等。

4) 如图 2-299 所示是贴片肖特基二极管实物图。

与普通硅二极管一样，肖特基二极管也是具有单向导电特性，肖特基二极管则利用金属和半导体接触产生的势垒而起到单向导电作用。它是以多数载流子工作的整流器件，所以肖特基二极管低功耗、大电流、超高速。它的反向恢复时间极短（可以小到几纳秒），正向导通电压降仅为 0.4V 左右，而整流电流却可达到几千安培。

5) 如图 2-300 所示是贴片稳压二极管实物图。

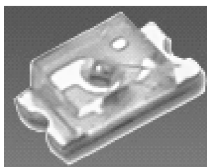


图 2-298 贴片双色发光二极管实物图



图 2-299 贴片肖特基二极管实物图



图 2-300 贴片稳压二极管实物图

稳压二极管运用 PN 结的反向状态，在进入工作状态后稳压二极管两端的直流电压比较稳定。

6) 如图 2-301 所示是贴片桥堆实物图。

### 13. 贴片晶体管

如图 2-302 所示是贴片晶体管实物图。

如图 2-303 所示是贴片带阻晶体管实物图。

### 14. 贴片场效应晶体管

如图 2-304 所示是贴片场效应晶体管实物图。

### 15. 贴片集成电路

如图 2-305 所示是四列贴片集成电路实物图。

如图 2-306 所示是双列贴片集成电路实物图。

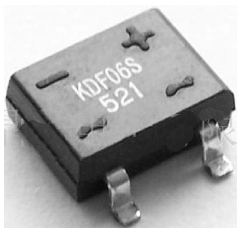


图 2-301 贴片桥堆实物图

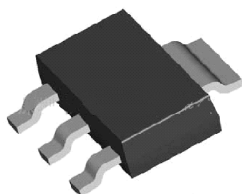


图 2-302 贴片晶体管实物图



图 2-303 贴片带阻晶体管实物图

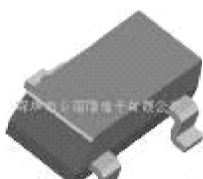


图 2-304 贴片场效晶体  
管实物图

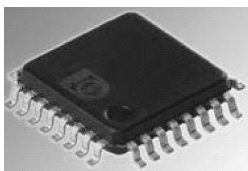


图 2-305 四列贴片集成  
电路实物图

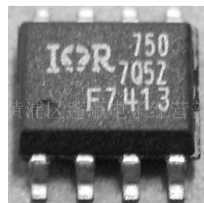


图 2-306 双列贴片集成  
电路实物图

### 16. 贴片光耦合器

如图 2-307 所示是贴片光耦合器实物图。

### 17. 贴片晶振

如图 2-308 所示是贴片晶振实物图。

### 18. 贴片陶瓷滤波器

如图 2-309 所示是贴片陶瓷滤波器实物图。

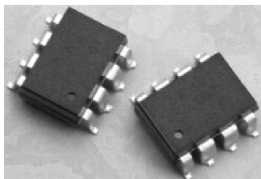


图 2-307 贴片光耦合器实物图

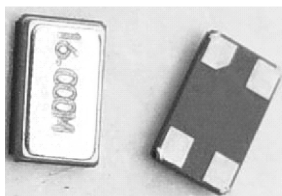


图 2-308 贴片晶振实物图

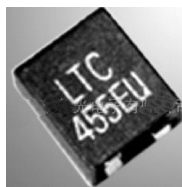


图 2-309 贴片陶瓷滤波器实物图

### 19. 贴片晶闸管

如图 2-310 所示是贴片晶闸管实物图。

### 20. 贴片声表面滤波器

如图 2-311 所示是贴片声表面滤波器实物图。

### 21. 贴片熔丝

如图 2-312 所示是贴片熔丝实物图。

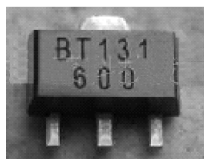


图 2-310 贴片晶闸管实物图

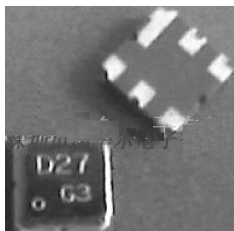


图 2-311 贴片声表面滤波器实物图



图 2-312 贴片熔丝实物图

## 22. 贴片插座

如图 2-313 所示是贴片插座实物图。

## 23. 贴片轻触开关

如图 2-314 所示是贴片轻触开关实物图。

## 24. 贴片层叠磁珠

如图 2-315 所示是贴片层叠磁珠实物图。

## 25. 贴片自恢复熔丝

如图 2-316 所示是贴片自恢复熔丝实物图。

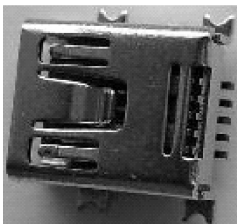


图 2-313 贴片插座实物图



图 2-314 贴片轻触开关实物图

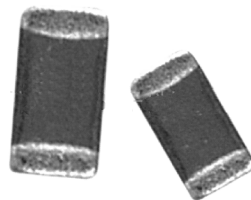


图 2-315 贴片层叠磁珠实物图

## 26. 贴片干簧管

如图 2-317 所示是贴片干簧管实物图。



图 2-316 贴片自恢复熔丝实物图

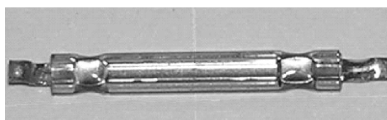


图 2-317 贴片干簧管实物图

阅读完成时间：\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日，用时\_\_\_\_天。

签 名：\_\_\_\_\_

阅读体会：（请写 10 个收获最大的知识点关键词）

阅读困惑：（请写 10 个最难理解的知识点关键词）



## 电子电路分析方法和学习方法

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！

105

## 重要提示

如何快速而轻松地学好电子技术？

总的原则是：系统学习，适度动手，从元器件起步，再进行电路分析学习，其中穿插实践活动，感性认识与理性认识交叉进行，以理论学习为主，如图 3-1 所示是入门学习“路线图”。

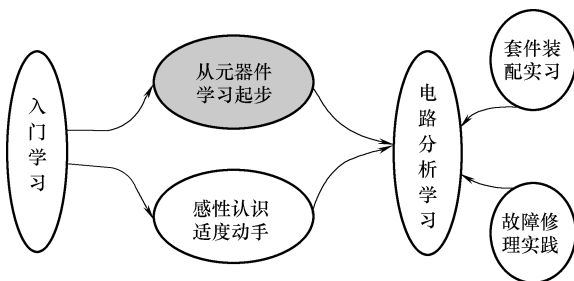


图 3-1 入门学习“路线图”

所谓快速学习就是少走弯路，所谓轻松学习就是方法得当，除此之外没有捷径可走，因为电子技术是一门内容广泛且系统而复杂的学科。

系统学习可以避免知识断层，减少学习初期的困惑，从而达到快速学习的目的。系统地学习是初学者学习时必须遵守的原则，是学习中最需要注意的方面。

对电子技术的学习理解是一层层展开的，用下一层知识来支撑上一层的知识点，是层层推进的理解过程，如果不系统学习就会出现理解上的断层，造成学习的困惑。

### 3.1 化整为零和集零为整电路分析方法

本节阅读建议：精细阅读，全面掌握，灵活运用。

本节难度系数：5 级。

本节记忆系数：9 级。

## 重要提示

对一个复杂电路的工作原理分析并不是一步就能到位，通常需要对电路进行分解，即分解成各



个比较简单单元电路，然后再对分出来的单元电路进行再分解，分解成更小的基础电路，再对其进行详细分析。

常用的电路分解方法主要有以下几种。

★3.1.1 多级放大器的电路分解方法



重要提示

在分析多级放大器电路时，对于初学者而言，为了深入理解电路工作原理，往往将多级放大器分成一级级的电路后，对每级放大器进行电路分析。

类似多级放大器分解的电路还有一些复杂的系统电路，也需要将它分解成多个独立的单元电路进行分析。例如，电源电路可以分解成交流降压电路、整流电路、滤波电路、稳压电路、保护电路等。

如图 3-2 所示是多级放大器分解方法示意图，将这一电路分解成三个更小的单元电路进行详解分析。

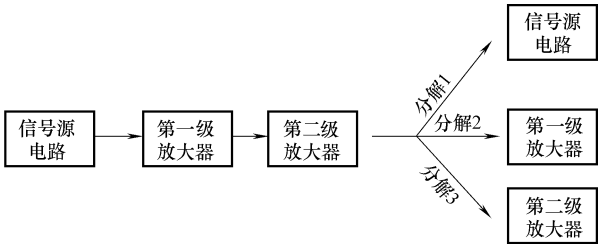


图 3-2 多级放大器分解方法示意图

★3.1.2 直流和交流电路分解方法



重要提示

为了深入分析电路的直流电路和交流电路工作原理，将电路分成直流和交流电路进行分别分析，尤其是对放大器电路，采用这种分析方式，这种电路分析方法容易理解直流电路工作原理和交流电路工作原理。

1. 分析直流电路

在分析直流电路时，将电路中的所有大小电容视为开路，因为电容不能让直流电流通过，这样可以简化直流电路的分析。如图 3-3 所示是直流和交流等效电路示意图，如果电路中有电感，分析直流等效电路时将电感视为通路。

2. 分析交流电路

在分析交流电路时，凡是电路中的耦合电容、滤波电容、退耦电容都看成通路，因为这几种电容的容量比较大，对交流信号呈现通路特性。如图3-3中的交流等效电路，做这样的等效之后，交流电路显得比较简洁，能够方便分析交流电路工作原理。如果电路中有电感，视电感为开路。

★3.1.3 直流与交流复合信号的分解方法

电路中的直流和交流信号往往叠加在一起，如图 3-4 所示是直流和交流复合信号波形示意图，直流  $U_1$  加交流信号  $U_2$  是复合信号。在分析耦合电路、滤波电容等有电容参与的电路工作原理时，将直流和交流复合信号分解成直流和交流信号两种情况更有利于电路工作原理的分析。

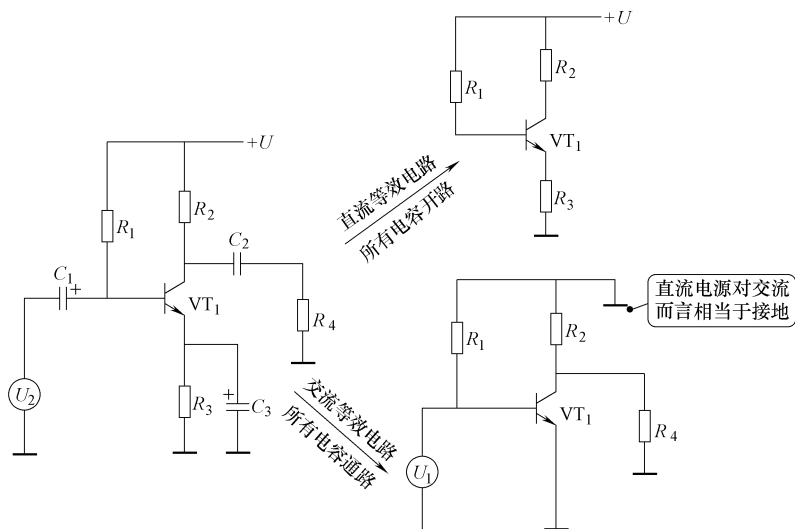


图 3-3 直流和交流等效电路示意图

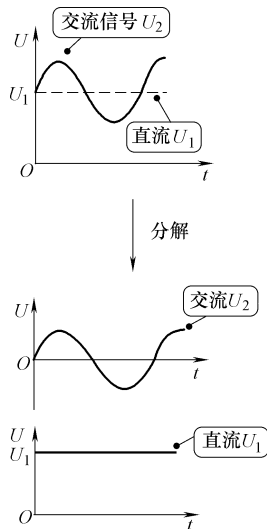


图 3-4 直流和交流复合信号波形示意图

### 重要提示

将直流和交流信号分开后，电路分析就会显得相当的简便，掌握这种直流和交流信号分解方法。

### ★3.1.4 信号的幅度分解方法

直流或交流信号中幅度会出现大或小等不同情况，而不同信号幅度对电路的影响是不同的，这时就要将信号幅度分解，进行分别分析。例如，电视机扫描电路中的复合同步信号分离电路、限幅电路等，对这些电路分析时不用信号幅度分解的方法就很难进行电路工作原理的分析。

如图 3-5 所示是两种信号幅度分解的方法示意图。如图 3-5a 所示，同步头电平最大，其次为消隐电平，视频信号<sup>①</sup>电平最小，这是三个不同幅度信号组成的复合信号，分解这个复合信号时用幅度分离的方法，根据不同电平大小分离出三个独立的信号；图 3-5b 所示信号幅度大小不一，一些电路分析中需要将信号分成大信号和小信号两种情况。

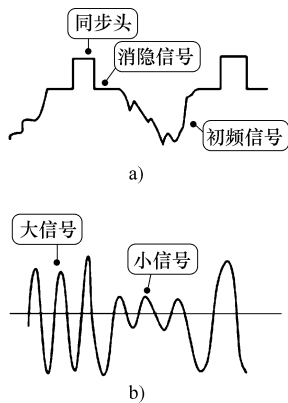


图 3-5 两种信号幅度分解的方法示意图

### ★3.1.5 交流信号的频率分解方法

### 重要提示

在电路分析中，时常需要根据信号的频率高低对信号进行分类，将信号频率分成几种情况，再进行电路工作原理的分析。

在分析选频放大器、陷波电路、选频电路、带通放大器电路等电路时，要对信号的频率进行分

① 同步头就是同步信号，由这一信号完成对扫描的同步动作。消隐信号用来消除不需要的扫描线（回扫线）。视频信号就是表征图像信息的信号。

解,根据不同的信号频率,电路有不同的工作结果,如果不分解信号的频率,这类电路就无法进行工作原理的分析。

### 1. 频率分解方法

如图 3-6 所示是频率分解方法示意图。当两种信号的频率高低相差很大时,一些电路分析中要将信号按频率分解,如高频信号和低频信号,再分细一点是低频信号、中频信号和高频信号。

### 2. 交流信号频段划分

电路分析中,关于信号频率的概念需要掌握频率的高与低,而且是信号频率的相对高低。交流信号的频率分解是将频带(最高频率和最低频率之间的范围)内的信号分成两个或多个更小频段信号,对不同频段内信号分别进行电路工作原理的分析。

交流信号的频率分解在不同情况下有不同的分段方法。

### 3. 低、中、高频信号分段分析方法

如图 3-7 所示是低、中、高频信号分段分析方法示意图。

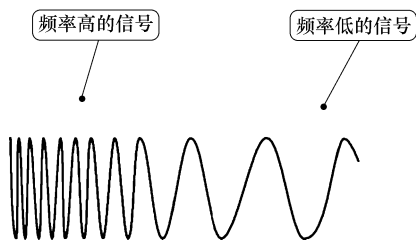


图 3-6 频率分解方法示意图

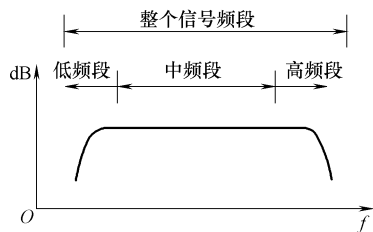


图 3-7 低、中、高频信号分段分析方法示意图

根据交流信号中信号频率的不同,通常将交流信号分成低频信号、中频信号和高频信号,这时分成三种情况进行电路分析。

低频信号频率最低,高频信号频率最高,中频信号频率居中。

显然,低频信号是指低频范围内某一频段信号,严格讲应该是低频段信号,俗称低频信号。同理,中频信号、高频信号也是某一频段内的信号。

### 4. 某个特定频率信号分析方法

如图 3-8 所示是某个特定频率信号分析方法示意图。

将交流信号分成某个特定频率信号(严格地讲是以该频率为中心的一个频带内信号)和该频带之外的其他频率信号两种情况,通常以中心频率为  $f_0$  的信号频带很窄。

这种分析方法主要用于吸收电路、带通滤波器和谐振电路的工作原理分析中。

### 5. 低频和中、高频信号分析方法

如图 3-9 所示是低频和中、高频信号分析方法示意图。

以某一特定频率的低频信号为界,将交流信号按频率高低分成低频信号和中、高频信号两种情

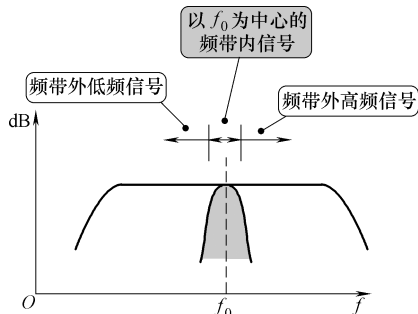


图 3-8 某个特定频率信号分析方法示意图

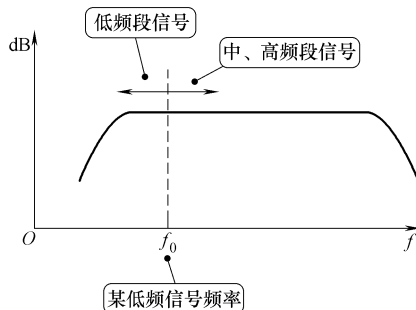


图 3-9 低频和中、高频信号分析方法示意图



况来分析,这往往是低频段信号在电路中受到特殊处理时采用这种频段分解方法。

这种方法主要用于分析高通滤波器、频率补偿等电路工作原理中。

### 6. 低、中频和高频信号分析方法

如图 3-10 所示是低、中频和高频信号分析方法示意图。

以某一特定频率的高频信号为界,将交流信号按频率高高低分成低、中频信号和高频信号两种情况来分析,这往往是高频段信号在电路中受到特殊处理时采用的频段分解方法。

这种方法主要用于分析高通滤波器等电路工作原理中。

### 7. 频段内和频段外信号分析方法

如图 3-11 所示是频段内和频段外信号分析方法示意图。

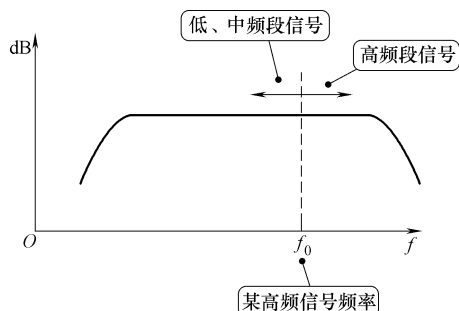


图 3-10 低、中频和高频信号分析方法示意图

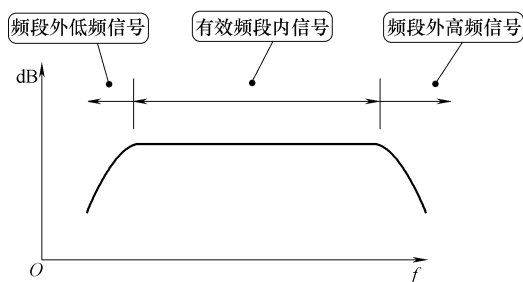


图 3-11 频段内和频段外信号分析方法示意图

将交流信号分成有效频段内信号和频段外信号两种情况。有效频段内信号是有用的信号,频段外信号通常是无用的信号,是有害的。

频段外信号又分成频段外低频信号和频段外高频信号,前者频率低于频段内信号的最低频率,后者频率高于频段内信号的最高频率。

### 8. 音频信号中低音、中音和高音频率划分分析方法

音频信号是电子电路中最常见的信号之一。

如图 3-12 所示是音频信号中低音信号、中音信号和高音信号划分示意图。通常将频率低于 500Hz 的音频信号称为低音信号,频率在 500 ~ 4000Hz 的称为中音信号,频率高于 4000Hz 的称为高音信号。

### 9. 音频信号中超低音和重低音频率

音响电路中,为了进一步说明低音,时常将低音频段再进一步分割,如图 3-13 所示,将最低的两个倍频程分别称为超低音和重低音。超低音的频段为 20 ~ 40Hz,重低音的频段为 40 ~ 80Hz,超低音和重低音合起来称为超重低音,其频段为 20 ~ 80Hz。

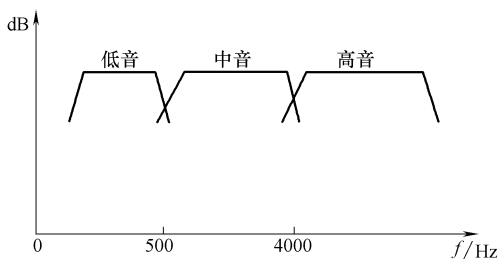


图 3-12 音频信号中低音信号、中音信号和高音信号划分示意图

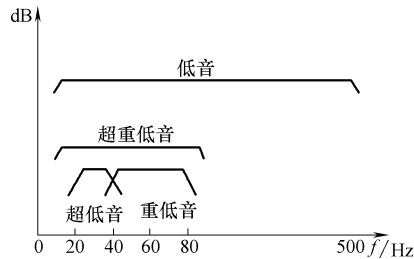


图 3-13 超低音和重低音频率示意图

### 10. 收音电路中高频信号、中频信号和低频信号

如图 3-14 所示是收音电路中信号频率的划分示意图。



在变频级之间的收音信号频率最高，称为高频信号，例如中波 700kHz 的广播电台高频信号，经过变频级之后，高频信号变成了中频信号，在调幅收音机中的中频频率为 465kHz，调频收音机中频频率为 10.7MHz；经过检波电路之后，中频信号变成了低频信号，也就是人耳所能听到的 20 ~ 20000Hz 的音频信号。

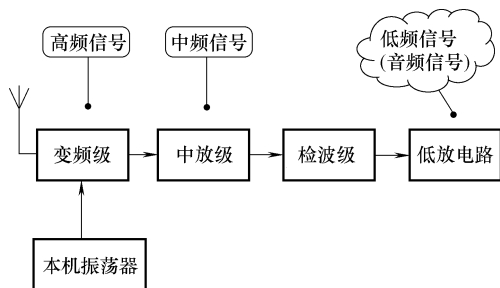


图 3-14 收音电路中信号频率的划分示意图

### ★3.1.6 电路分析中的集零为整方法

电路分析中不只是需将电路分解，化整为零，还需要集零为整，进行整机电路的全面分析，主要有下列几种类型。

#### 1. 多级放大器信号传输分析方法

分析信号的传输过程是电路分析中的重要环节，通过分析可以了解信号在整机电路中的传输、放大、处理的脉络。分析时将所有的电路连接成一个整体，对于多级放大器更从信号源电路开始一级级地分析，直至最后一级放大器的负载电路，如图 3-15 所示是多级放大器信号传输分析示意图。

信号传输分析的过程是：信号源  $U_s \rightarrow C_1 \rightarrow VT_1$  基极  $\rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow C_2 \rightarrow VT_2$  基极  $\rightarrow VT_2$  集电极  $\rightarrow C_3 \rightarrow R_3 \rightarrow$  后级电路。这一过程分析了信号在多级放大器电路中的传输路途，更为详细的分析过程如下：

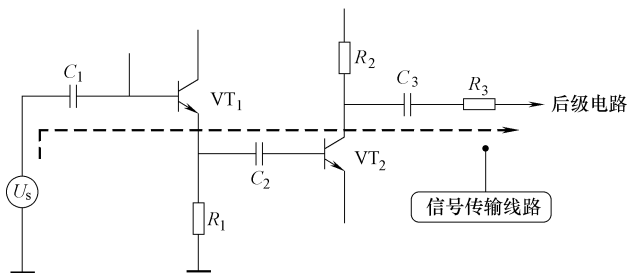


图 3-15 多级放大器信号传输分析示意图

$U_s$ （信号源，是放大器所需要放大的信号） $\rightarrow C_1$ （耦合电容，隔直流通交流） $\rightarrow VT_1$  基极  $\rightarrow VT_1$  发射极（射极输出器，进行电流放大和信号源电路隔离）

$\rightarrow C_2$ （第一级与第二级放大器之间耦合电容） $\rightarrow VT_2$  基极  $\rightarrow VT_2$  集电极（电流和电压双重放大作用） $\rightarrow C_3$ （第二级放大器输出端耦合电容） $\rightarrow R_3$ （耦合电路电阻，稳定电路工作） $\rightarrow$  后级电路。

在掌握上述信号传输分析的具体含义后，说明对多级放大器电路工作原理已经深层次地掌握，“吃透”了电路工作原理。

#### 重要提示

掌握信号传输分析的意义有下列几点：

- 1) 了解信号处理。全面掌握了信号在电路中每个环节（元器件）受到的处理结果，例如在放大管中得到放大，在耦合电容中实现了耦合等。
- 2) 了解信号行踪。故障检修中可以追踪信号的传输“行踪”，通过测量仪器可以了解信号在哪个环节的处理是否正常。
- 3) 利于故障分析。信号传输过程中的任何一个环节出现故障，将对后面的电路工作出现不良影响。例如，信号传输路途中任何一只元器件开路，后面的电路中无信号。

#### 2. 负反馈电路分析方法

#### 重要提示

分析负反馈电路<sup>①</sup>要联系放大器的输出端和输入端，需要将电路集零为整，特别是分析大环路

① 负反馈电路用来改善放大器的一些性能，含有负反馈电路的放大器称为负反馈放大器，绝大多数放大器都是负反馈放大器，关于这种将在后面有详细介绍。



负反馈电路时，要将参与负反馈的各级电路联系起来分析。

如图 3-16 所示是分析负反馈电路示意图，这是一个有放大器参与、连接放大器输入端和输出端的闭合回路，负反馈电路接在放大器输出端与输入端之间，根据这一电路特征可以识别负反馈电路。

负反馈电路从放大器输出端取出一部分信号作为反馈信号  $U_F$ ，加到放大器的输入端，与输入信号  $U_i$  混合，负反馈电路是两信号幅度相减，得到幅度小于输入信号  $U_s$  的净输入信号  $U_i$ ，加到放大器输入端。

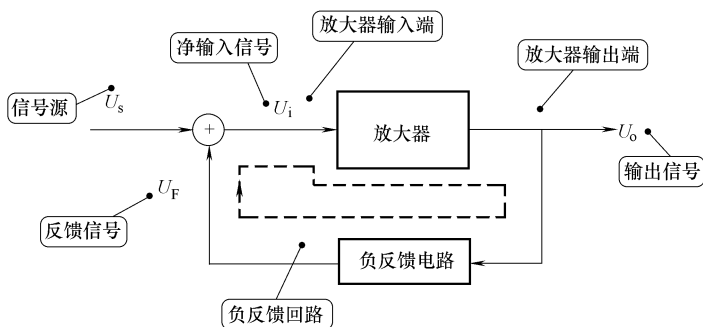


图 3-16 负反馈电路示意图

## 3.2 电子电路图识图方法

本节阅读建议：仔细阅读，后续内容中再次精细阅读，深入掌握，识图中运用自如。

本节难度系数：3 级。

本节记忆系数：8 级。

### ★3.2.1 框图识图方法

如图 3-17 所示是一个两级音频信号放大系统的框图，从图中可以看出，这一系统电路主要由信号源电路、第一级放大器、第二级放大器和负载电路构成，从这一框图也可以知道，这是一个两级放大器电路。

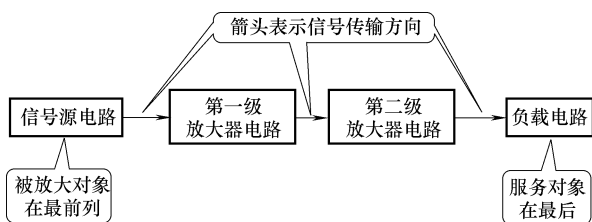


图 3-17 框图示意图



#### 重要提示

框图种类较多，主要有三种：整机电路框图、系统电路框图和集成电路内电路框图。

#### 1. 整机电路框图

整机电路框图是表达整机电路图的框图，也是众多框图中最为复杂的框图，关于整机电路框图，主要说明下列几点。

- 1) 从整机电路框图中，可以了解到整机电路的组成和各部分单元电路之间的相互关系。
- 2) 在整机电路框图中，通常在各个单元电路之间用带有箭头的连线进行连接，通过图中的这些箭头方向，还可以了解到信号在整机各单元电路之间的传输途径等。
- 3) 有些机器的整机框图比较复杂，有的用一张框图表示整机电路结构情况，有的则将整机电路框图分成几张。
- 4) 并不是所有的整机电路在图册资料中都给出整机电路的框图，但是，同类型的整机电路其整机电路框图基本上是相似的，所以利用这一点，可以借助于其他整机电路框图了解整机电路组成等情况。
- 5) 整机电路框图不仅是分析整机电路工作原理的有用资料，更是故障检修中逻辑推理、建立正确检修思路的依据。

## 2. 系统电路框图

一个整机电路通常由许多系统电路构成，系统电路框图就是用框图形式来表示该系统电路的组成等情况，它是整机电路框图下一级的框图，往往系统框图比整机电路框图更加详细，如图3-18所示是组合音中的收音电路系统框图。

## 3. 集成电路内电路框图

### 重要提示

集成电路内电路框图是一种十分常见的框图。集成电路内电路的组成情况可以用内电路或内电路框图来表示，由于集成电路内电路十分复杂，所以在许多情况下，用内电路框图来表示集成电路的内电路组成情况更利于识图。

从集成电路的内电路框图中，可以了解到集成电路的组成、有关引脚作用等识图信息，这对分析该集成电路的应用电路是十分有用的，如图3-19所示是某型号收音中放集成电路的内电路框图。

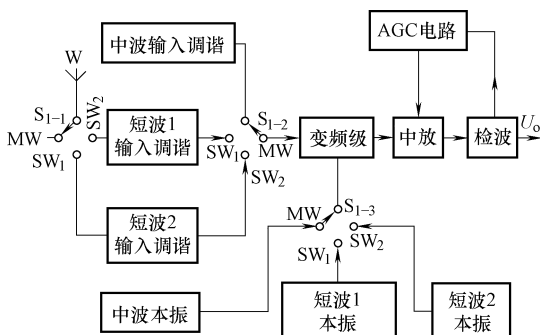


图 3-18 收音电路系统框图

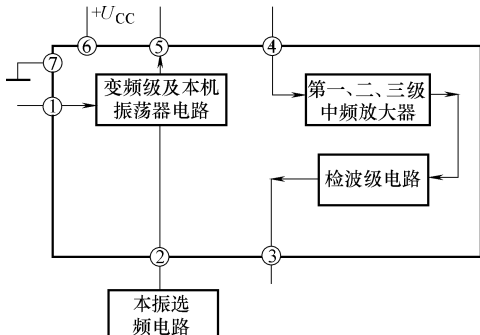


图 3-19 集成电路内电路框图

从这一集成电路内电路框图中可以看出，这一集成电路内电路由本机振荡器电路，第一、二、三级中频放大器电路和检波器电路组成。

### 重要提示

集成电路一般引脚比较多，内电路功能比较复杂，所以在进行电路分析时，集成电路的内电路框图是很有帮助的。

## 4. 框图功能

框图的功能主要有列一些：

1) 表达了众多信息。粗略表达了某复杂电路（可以是整机电路、系统电路和功能电路等）的组成情况，通常是给出这一复杂电路的主要单元电路位置、名称，以及各部分单元电路之间的连接关系，如前级和后级关系等信息。

2) 表达了信号传输方向。框图表达了各单元电路之间的信号传输方向，从而能了解信号在各部分单元电路之间的传输次序；根据框图中标出的电路名称，可以知道信号在这一单元电路中的处理过程，为分析具体电路提供了指导性的信息。

例如，图3-4所示的框图给出了这样的识图信息：信号源输出的信号首先加到第一级放大器中放大（信号源电路与第一级放大器之间的箭头方向提示了信号传输方向），然后送入第二级放大器中放大，再激励负载。

### 重要提示

框图是一张重要的电路图，特别是在分析集成电路应用电路图、复杂的系统电路、了解整机电路组成情况时，没有框图将造成识图的诸多不便和困难。



### 5. 框图特点

提出框图的概念主要是为了识图的需要,了解框图的下列一些特点对识图、修理具有重要意义。

1) 框图简明、清楚,可方便地看出电路的组成和信号的传输方向、途径,以及信号在传输过程中受到的处理过程等,例如信号是得到了放大还是受到了衰减。

2) 由于框图比较简洁、逻辑性强,所以便于记忆,同时它所包含的信息量大,这就显得框图更为重要。

3) 框图有简明的也有详细的,框图越详细为识图提供的有益信息就越多,在各种框图中,集成电路的内电路框图最为详细。

4) 框图中往往会标出信号传输的方向(用箭头表示),它形象地表示了信号在电路中的传输方向,这一点对识图是非常有用的,尤其是集成电路内电路框图,它可以帮助了解某引脚是输入引脚还是输出引脚(根据引脚上的箭头方向得知这一点)。



#### 重要提示

分析一个具体电路工作原理之前,或者在分析集成电路的应用电路之前,先分析该电路的框图是必要的,有助于分析具体电路的工作原理。

在几种框图中,整机框图是最重要的框图,要牢记在心中,这对修理中逻辑推理的形成和故障部位的判断十分重要。

### 6. 框图识图方法

关于框图的识图方法,说明以下三点。

1) 分析信号传输。了解整机电路图中的信号传输过程时,主要是识图中箭头的方向,箭头所在的通路表示了信号的传输通路,箭头方向指示了信号的传输方向。在一些音响设备的整机电路框图中,左、右声道电路的信号传输指示箭头采用实线和虚线来分开表示,如图3-20所示。

2) 记忆电路组成。记忆一个电路系统的组成时,由于具体电路太复杂,所以要用框图。方框图中,可以看出各部分电路之间的相互关系(相互之间是如何连接的),特别是控制电路系统,可以看出控制信号的传输过程,控制信号的来路和控制的对象。

3) 分析集成电路。分析集成电路的应用电路过程中,没有集成电路的引脚作用资料时,可以借助于集成电路的内电路框图来了解、推理引脚的具体作用,特别是可以明确地了解哪些引脚是输入脚,哪些是输出脚,哪些是电源引脚,而这三种引脚对识图是非常重要的。当引脚引线的箭头指向集成电路外部时,这是输出引脚,箭头指向朝里是输入引脚。

举例说明:如图3-21所示集成电路框图,集成电路的①脚引线箭头向里,为输入引脚,说明信号是从①脚输入到变频级电路中,所以①脚是输入引脚;⑤脚引脚上的箭头方向朝外,所以⑤脚是输出引脚,变频后的信号从该引脚输出。④脚也是输入引脚,输入的是中频信号,因为信号输入到中频放大器电路中,所以输入的信号是中频信号。③脚也是输出引脚,输出经过检波后的音频信号。

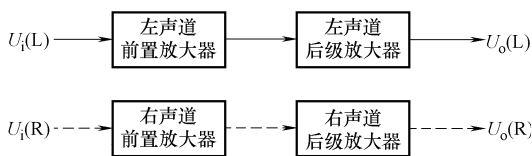


图3-20 实线和虚线示意图

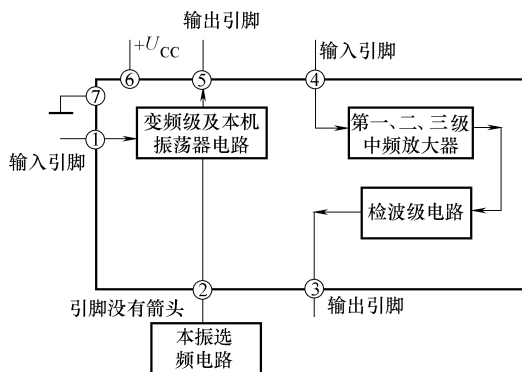


图3-21 示意图

当引线上没有箭头时,例如集成电路的②脚,说明该引脚外电路与内电路之间不是简单的输入或输出关系,框图只能说明②脚内、外电路之间存在着某种联系,②脚要与外电路中本机振荡器电路中的有关元器件相连,具体是什么联系,框图就无法表达清楚了,这也是框图的一个不足之处。

另外,在一些集成电路内电路框图中,有的引脚上箭头是双向的,如图 3-22 所示,这种情况在数字集成电路中多见,这表示信号能够从该引脚输入,也能从该引脚输出。

### 7. 框图识图注意事项

框图的识图要注意以下几点。

1) 厂方提供的电路资料中,一般情况下都不给出整机电路框图,不过大多数同类型机器其电路组成是相似的,可以利用这一特点用一种机器的整机框图作为参考。

2) 一般情况下,对集成电路的内电路是不必进行分析的,只需要通过集成电路内电路框图来理解信号在集成电路内电路中的放大和处理过程。

3) 框图是众多电路中首先需要记忆的电路图,所以记住整机电路框图和其他一些主要系统电路的框图,是学习电子电路的第一步。

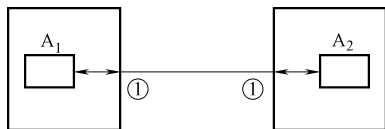


图 3-22 示意图

## ★3.2.2 单元电路图识图方法



### 重要提示

单元电路是指某一级控制器电路,或某一级放大器电路,或某一个振荡器电路、变频器电路等,它是能够完成某一电路功能的最小电路单位。从广义角度上讲,一个集成电路的应用电路也是一个单元电路。

学习整机电子电路工作原理过程中,单元电路图是首先遇到的具有完整功能的电路图,这一电路图概念的提出,完全是为了方便电路工作原理分析的需要。

### 1. 单元电路图功能

单元电路图具有下列一些功能。

1) 单元电路图主要用来讲述电路的工作原理。  
2) 单元电路图能够完整地表达某一级电路的结构和工作原理,有时还会全部标出电路中各元器件的参数,如标称阻值、标称容量和晶体管型号等,如图 3-23 所示,图中标出了可变电阻器和电阻器的阻值。

3) 单元电路图对深入理解电路的工作原理和记忆电路的结构、组成很有帮助。

### 2. 单元电路图特点

单元电路图主要是为了分析某个单元电路工作原理的方便,而单独将这部分电路画出的电路,所以在图中已省去了与该单元电路无关的其他元器件和有关的连线、符号,这样,单元电路图就显得比较简洁、清楚,识图时没有其他电路的干扰,这是单元电路的一个重要特点。单元电路图中对电源、输入端和输出端已经加以了简化。

如图 3-24 所示是一个单元电路图。

1) 电源表示方法。电路图中,用  $+U$  表示直流工作电压,其中正号表示采用正极性直流电压给电路供电,地端接电源的负极;用  $-U$  表示直流工作电压,其中负号表示采用负极性直流电压给电路供电,地端接电源的正极。

2) 输入和输出信号表示方法。 $U_i$  表示输入信号,是这

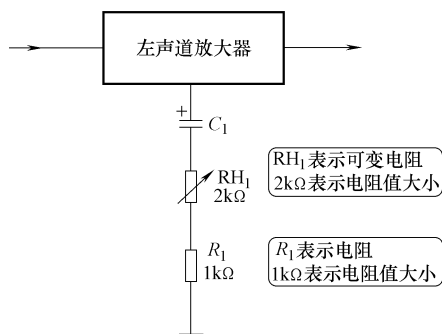


图 3-23 示意图

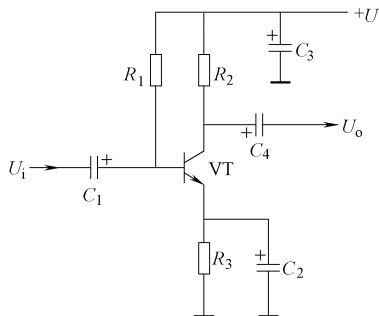


图 3-24 单元电路示意图





一单元电路所要放大或处理的信号； $U_o$  表示输出信号，是经过这一单元电路放大或处理后的信号。



#### 重要提示

通过单元电路图中这样的标注可方便地找出电源端、输入端和输出端，而在实际电路中，这三个端点的电路均与整机电路中的其他电路相连，没有  $+U$ 、 $U_i$ 、 $U_o$  的标注，给初学者识图造成了一定的困难。

例如：见到  $U_i$  可以知道信号是通过电容  $C_i$  加到晶体管  $VT_i$  基极的；见到  $U_o$  可以知道信号是从晶体管  $VT_i$  集电极输出的，这相当于在电路图中标出了放大器的输入端和输出端，无疑大大方便了电路工作原理的分析。

3) 单元电路图采用习惯画法，一看就明白。例如元器件采用习惯画法，各元器件之间采用最短的连线，而在实际的整机电路图中，由于受电路中其他单元电路中元器件的制约，该单元电路中的有关元器件画得比较乱，有的在画法上不是常见的画法，有的个别元器件画得与该单元电路相距较远，这样，电路中的连线很长且弯弯曲曲，造成电路识图和电路工作原理理解的不方便。



#### 重要提示

单元电路图只出现在讲解电路工作原理的书籍中，实用电路图中是不出现的。对单元电路的学习是学好电子电路工作原理的关键。只有掌握了单元电路的工作原理，才能去分析整机电路。

### 3. 单元电路图识图方法

单元电路的种类繁多，而各种单元电路的具体识图方法有所不同，这里只对共同性的问题说明几点。

1) 有源电路分析。所谓有源电路就是需要直流电压才能工作的电路，例如放大器电路。

对有源电路的识图首先分析直流电压供给电路，此时将电路图中的所有电容器看成开路（因为电容器具有隔直特性），将所有电感器看成短路（电感器具有通直的特性）。如图 3-25 所示是直流电路分析示意图。

在整机电路的直流电路分析中，电路分析的方向一般是先从右向左，因为电源电路画在整机电路图的右侧下方，如图 3-26 所示是整机电路图中电源电路位置示意图。

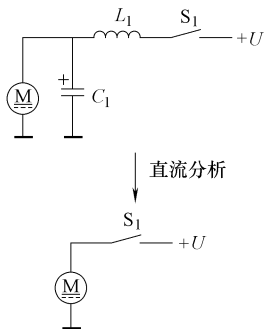


图 3-25 直流电路分析示意图

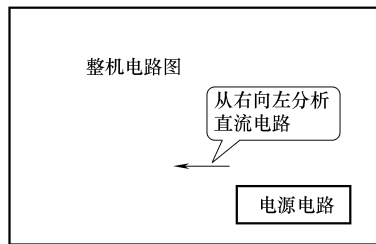


图 3-26 整机电路图中电源电路位置示意图

对某一个具体单元电路的直流电路分析时，从上向下分析，因为直流电压供给电路通常画在电路图的上方，如图 3-27 所示是某一个单元电路直流电路分析方向示意图。

2) 信号传输过程分析。这一分析就是信号在该单元电路中如何从输入端传输到输出端，信号在这一传输过程中受到了怎样的处理（如放大、衰减、控制等）。如图 3-28 所示是信号传输的分析方向示意图，一般是从左向右进行。

3) 元器件作用分析。电路中的元器件作用分析非常关键，能不能看懂电路工作其实就是能不能搞懂电路中的各元器件作用。

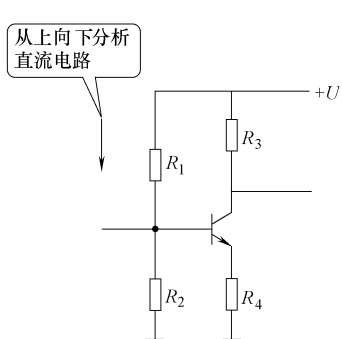


图 3-27 某一个单元电路直流电路分析方向示意图

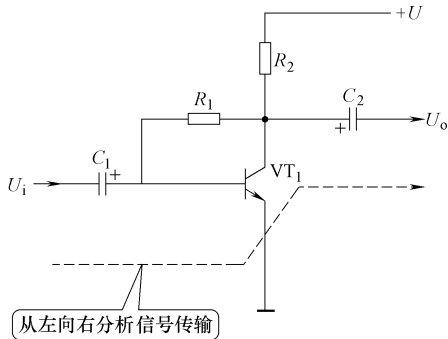


图 3-28 信号传输的分析方向示意图

元器件作用分析就是搞懂电路中各元器件起什么作用，主要从直流电路和交流电路两个角度去分析。

举例说明：如图 3-29 所示是发射极负反馈电阻电路。 $R_1$  是  $VT_1$  管发射极电阻，对直流而言，它为  $VT_1$  管提供发射极直流电流回路，为晶体管能够进入放大状态提供条件。

对于交流信号而言， $VT_1$  管发射极输出的交流信号电流流过了  $R_1$ ，使  $R_1$  产生交流负反馈作用，能够改善放大器的性能。而且，发射极负反馈电阻  $R_1$  的阻值越大，其交流负反馈越强，性能改善得越好。

4) 电路故障分析。注意：在搞懂电路工作原理之后，元器件的故障分析才会变得比较简单，否则电路故障分析寸步难行。

电路故障分析就是当电路中元器件出现开路、短路、性能变劣后，对整个电路工作会造成什么样的不良影响，使输出信号出现什么故障现象，例如出现无输出信号、输出信号小、信号失真、出现噪声等故障。

举例说明：如图 3-30 所示是电源开关电路， $S_1$  是电源开关。电路故障分析时，假设电源开关  $S_1$  出现下列几种可能的故障：

1) 接触不良故障分析。由于  $S_1$  在接通时两触点之间不能接通，电压无法加到电源变压器  $T_1$  中，电路无电压而不能正常工作。如果是  $S_1$  两触点之间的接触大，这样  $S_1$  接通时开关两触点之间存在较大的电压降，使加到  $T_1$  一次侧的电压下降，使电源变压器  $T_1$  二次线圈输出电压低。

2) 开关  $S_1$  断开电阻小故障分析。当开关  $S_1$  断开电阻小时，在  $S_1$  断开时仍然有一部分电压加到  $T_1$  一次线圈，使电路不能彻底断电，机器的安全性能差。

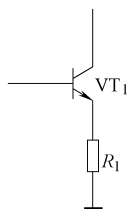


图 3-29 发射极负反馈电阻电路

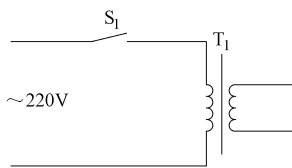


图 3-30 电源开关电路

#### 重要提示

整机电路中的各种功能单元电路繁多，许多单元电路的工作原理十分复杂，若在整机电路中直接进行分析，就显得比较困难，通过单元电路图分析之后，再去分析整机电路就显得比较简单，所以单元电路图的识图也是为整机电路分析服务的。

### ★3.2.3 等效电路图识图方法

#### 重要提示

等效电路图是一种便于电路工作原理理解的简化形式电路图，它的电路形式与原电路有所不同



同,但电路所起的作用与原电路是一样的(等效的)。

在分析一些电路时,采用这种更利于接受的电路形式去代替原电路,可方便电路工作原理的理解。

### 1. 三种等效电路图

等效电路图主要有三种:

1) 直流等效电路。这一等效电路只画出原电路中与交流相关的电路,省去了交流电路,这在分析直流电路时才用到。

画直流等效电路时,要将原电路中的电容看成开路,而将线圈看成通路。

2) 交流等效电路。这一等效电路只画出原电路中与交流信号相关的电路,省去了直流电路,这在分析交流电路时要用到。

画出交流等效电路时,要将原电路中的耦合电容看成通路,将线圈看成开路。

3) 元器件等效电路。对于一些新型、特殊元器件,为了说明它的特性和工作原理,用到这种等效电路。

举例说明:如图 3-31 所示是常见的双端陶瓷滤波器的等效电路图。

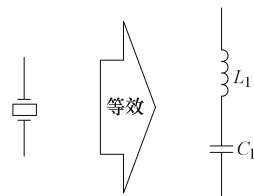


图 3-31 双端陶瓷滤波器的等效电路

117

#### 重要提示

从等效电路图中可以看出,双端陶瓷滤波器在电路中的作用相当于一个  $LC$  串联谐振电路,所以它可以用线圈  $L_1$  和电容  $C_1$  串联电路来等效,而  $LC$  串联谐振电路是常见电路,比较熟悉它的特性,这样可以方便地理解电路的工作原理。

### 2. 等效电路图分析方法

#### 重要提示

等效电路的特点是电路简单,是一种常见、易于理解的电路。等效电路图在整机电路图中见不到,它出现在电路原理分析的图书中,是一种为了方便电路工作原理分析而采用的电路图。

关于等效电路图识图方法主要说明以下几点:

1) 分析电路时,用等效电路去直接代替原电路中的电路或元器件,用等效电路的特性去理解原电路工作原理。

2) 三种等效电路有所不同,电路分析时要搞清楚使用的是哪种等效电路。

3) 分析复杂电路工作原理时,通过画出直流或交流等效电路后进行电路分析,这样比较方便。

4) 不是所有的电路都需要通过等效电路图去理解。

### ★3.2.4 集成电路应用电路识图方法

#### 重要提示

在电子设备中,集成电路的应用越来越广泛,对集成电路应用电路的识图是电路分析中的一个重点。

#### 1. 集成电路应用电路图功能

集成电路应用电路图具有下列一些功能。

1) 它表达了集成电路各引脚外电路结构、元器件参数等,从而表示了某一集成电路的完整工作情况。

2) 有些集成电路应用电路中,画出了集成电路的内电路框图,这时对分析集成电路应用电路是相当方便的,但采用这种表示方式的情况不多。

3) 集成电路应用电路有典型应用电路和实用电路两种,前者在集成电路手册中可以查到,后者出现在实用电路中,这两种应用电路相差不大,根据这一特点,在没有实际应用电路时,可以用典型应用电路图作为参考电路,这一方法在修理中常常采用。



#### 重要提示

一般情况下,集成电路应用电路表达了一个完整的单元电路,或一个电路系统,但有些情况下,一个完整的电路系统要用到两个或更多的集成电路。

### 2. 集成电路应用电路特点

集成电路应用电路图具有下列一些特点。

1) 大部分应用电路不画出内电路框图,这对识图不利,尤其对初学者进行电路工作分析时更为不利。

2) 对初学者而言,分析集成电路的应用电路比分析分立元器件的电路更为困难,这是由于对集成电路内部电路不了解而造成的,实际上识图也好、修理也好,集成电路比分立元器件电路更为简便。



#### 重要提示

对集成电路应用电路而言,大致了解集成电路内部电路和详细了解各引脚作用的情况下,识图是比较方便的。这是因为同类型集成电路具有规律性,在掌握了它们的共性后,可以方便地分析许多同功能不同型号的集成电路应用电路。

### 3. 了解各引脚作用是识图的关键

了解各引脚的作用可以查阅有关集成电路应用手册。知道了各引脚作用之后,分析各引脚外电路工作原理和元器件作用就方便了。

例如:知道集成电路的①脚是输入引脚,那么与①脚所串联的电容是输入端耦合电路,与①脚相连的电路是输入电路。



#### 重要提示

了解集成电路各引脚作用有3种方法:查阅有关资料、根据集成电路的内电路框图分析和根据集成电路的应用电路中各引脚外电路的特征进行分析。

对第三种方法要求有比较好的电路分析基础。

### 4. 电路分析步骤

集成电路应用电路的具体分析步骤如下。

1) 直流电路分析。这一步主要是进行电源和接地引脚外电路的分析。

注意:电源引脚有多根引脚时,要分清这几个电源引脚之间的关系,例如是否是前级、后级电路的电源引脚,或是左右声道的电源引脚;对多个接地引脚也要这样分清。分清多个电源引脚和接地引脚,对修理是有用的。

2) 信号传输分析。这一步主要分析信号输入引脚和输出引脚外电路。

当集成电路有多个输入、输出引脚时,要搞清楚是前级还是后级电路的引脚;对于双声道电路,还要分清左、右声道的输入和输出引脚。

3) 其他引脚外电路分析。例如找出负反馈引脚、消振引脚等,这一步的分析是最困难的,对初学者而言,要借助于引脚作用资料或内电路框图。

4) 掌握引脚外电路规律。有了一定的识图能力后,要学会总结各种功能集成电路的引脚外电



路规律,并要掌握这种规律,这对提高识图速度是有用的。

例如,输入引脚外电路的规律是:通过一个耦合电容或一个耦合电路与前级电路的输出端相连;输出引脚外电路的规律是:通过一个耦合电路与后级电路的输入端相连。

5) 分析信号放大、处理过程。分析集成电路内电路的信号放大、处理过程时,最好是查阅该集成电路的内电路框图。

分析内电路框图时,可以通过信号传输线路中的箭头指示,知道信号经过了哪些电路的放大或处理,最后信号是从哪个引脚输出。

6) 了解一些关键点。了解集成电路的一些关键测试点、引脚直流电压规律对检修电路是十分有用的。



#### 重要提示

OTL 电路输出端的直流电压等于集成电路直流工作电压的一半。

OCL 电路输出端的直流电压等于 0V。

BTL 电路两个输出端的直流电压是相等的,单电源供电时等于直流工作电压的一半,双电源供电时等于 0V。

当集成电路两个引脚之间接有电阻时,该电阻将影响这两个引脚上的直流电压。

当两个引脚之间接有线圈时,这两个引脚的直流电压是相等的,不等时必是线圈开路了。

当两个引脚之间接有电容或接 RC 串联电路时,这两个引脚的直流电压肯定不相等,若相等说明该电容已经击穿。

### ★3.2.5 整机电路图识图方法

#### 1. 整机电路图功能

整机电路图具有下列一些功能。

1) 电路结构。整机电路图表明整个机器的电路结构、各单元电路的具体形式和它们之间的连接方式,从而表达了整机电路的工作原理,这是电路图中最大的一张电路图。

2) 给出各元器件参数。它给出了电路中各元器件的具体参数,如型号、标称值和其他一些重要数据,为检测和更换元器件提供了依据。如图 3-32 所示,更换某个晶体管时,可以查阅图中的晶体管型号标注(BG<sub>1</sub>为老旧符号,现晶体管用 VT 表示)。

3) 给出修理数据和资料。许多整机电路图中还给出了有关测试点的直流工作电压,为检修电路故障提供了方便,例如集成电路各引脚上的直流电压标注,晶体管各电极上的直流电压标注等,视频设备的整机电路图关键测试点处还标出信号波形,为检修这些部分电路提供了方便,如图 3-33 所示是整机电路图中的直流电流数据示意图。

4) 识图信息。整机电路图给出了与识图相关的有用信息。例如:通过各开关件的名称和图中开关所在位置的标注,可以知道该开关的作用和当前开关状态;引线接插件的标注能够方便地将各张图样之间的电路连接起来。

一些整机电路图中,将各开关件的标注集中在一起,标注在图样的某处,并有开关的功能说明,识图中若对某个开关不了解时,可以去查阅这部分说明。整机电路图中还有其他一些有益识图的信息。

#### 2. 整机电路图特点

整机电路图与其他电路图相比,具有下列一些特点。

1) 整机电路图包括了整个机器的所有电路。

2) 不同型号的机器其整机电路中的单元电路变化是十分丰富的,这给识图造成了不少困难,要求有较全面的电路知识。同类型的机器,其整机电路图有其相似之处,不同类型机器之间则相差很大。



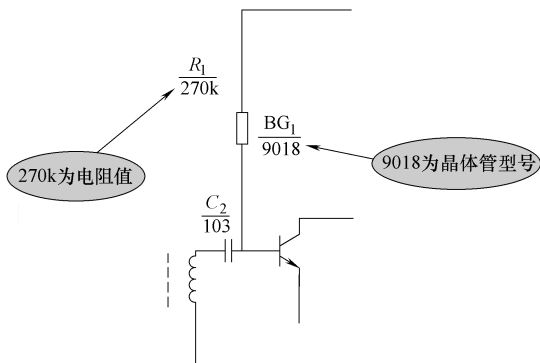


图 3-32 示意图

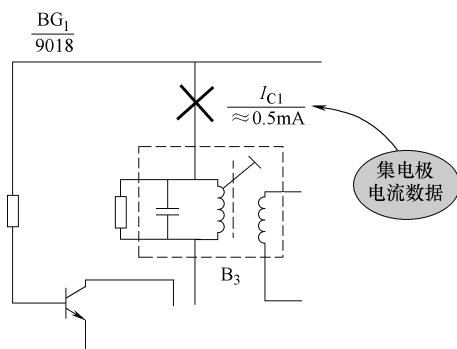


图 3-33 示意图

3) 各部分单元电路在整机电路图中的画法有一定规律,了解这些规律对识图是有益的。



#### 重要提示

电源电路画在整机电路图右下方;信号源电路画在整机电路图的左侧;负载电路画在整机电路图的右侧;各级放大器电路是从左向右排列的,双声道电路中的左、右声道电路是上下排列的;各单元电路中的元器件是相对集中在一起的。记住上述整机电路的特点,对整机电路图的分析是有益的。

### 3. 整机电路图给出了与识图相关的有用信息

整机电路图中与识图相关的信息主要有下列一些:

1) 通过各开关件的名称和图中开关所在位置的标注,可以知道该开关的作用和当前开关状态,如图 3-34 所示是录放开关的标注识别示意图。图中,  $S_{1-1}$  是录放开关, P 表示放音, R 表示录音,图示在放音位置。

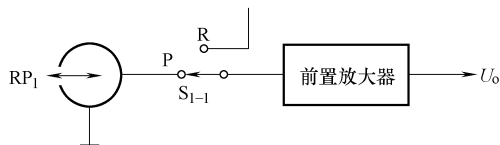


图 3-34 录放开关的标注识别示意图

2) 当整机电路图分为多张图样时,引线接插件的标注能够方便地将各张图样之间的电路连接起来。如图 3-35 所示是各张图样之间引线接插件连接示意图,图中 CSP101 在一张电路图中, CNP101 在另一张图中, CSP101 中的 101 与 CNP101 中的 101 表示是同一个接插件,一个为插头,一个为插座,根据这一电路标注可以说明这两张图样的电路在这个接插件处相连。

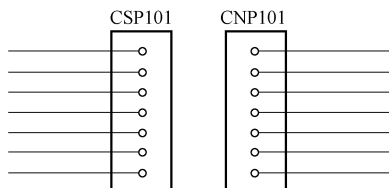


图 3-35 各张图样之间引线接插件连接示意图

3) 一些整机电路图中,将各开关件的标注集中在一起,标注在图样的某处,标有开关的功能说明,识图中若对某个开关不了解时可以去查阅这部分说明。如图 3-36 所示是开关功能标注示意图。

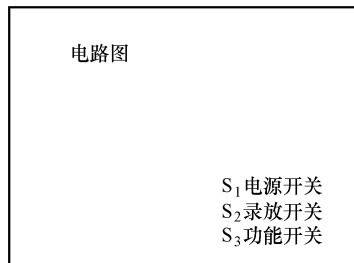


图 3-36 开关功能标注示意图

### 4. 整机电路图的主要分析内容

对整机电路图的主要分析内容有下列一些:



- 1) 部分单元电路在整机电路图中的具体位置。
- 2) 单元电路的类型。
- 3) 直流工作电压供给电路分析。直流工作电压供给电路的识图方向是从右向左进行,对某一级放大电路的直流电路识图方向是从上而下。
- 4) 交流信号传输分析。一般情况下,交流信号传输的方向是从整机电路图的从左侧向右侧进行分析。
- 5) 对一些以前未见过的、比较复杂的单元电路工作原理进行重点分析。

### 5. 其他知识点

- 1) 对于分成几张图样的整机电路图可以一张一张地进行识图,如果需要进行整个信号传输系统的分析,则要将各图样连起来进行分析。
- 2) 对整机电路图的识图,可以在学习了一种功能的单元电路之后,分别在几张整机电路图中去找到这一功能的单元电路,进行详细分析。由于在整机电路图中的单元电路变化较多,而且电路的画法受其他电路的影响而与单个画出的单元电路不一定相同,所以加大了识图的难度。
- 3) 分析整机电路过程中,对某个单元电路的分析有困难,例如对某型号集成电路应用电路的分析有困难,可以查找这一型号集成电路的识图资料(内电路方框图、各引脚作用等),以帮助识图。
- 4) 一些整机电路图中会有许多英文标注,能够了解这些英文标注的含义,对识图是相当有利的。在某型号集成电路附近标出的英文说明就是该集成电路的功能说明,如图3-37所示是电路图中英文标注示意图。

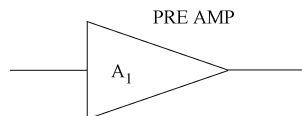


图3-37 电路图中英文标注示意图

## ★3.2.6 修理识图方法



### 重要提示

修理过程中识图与学习电路工作原理时的识图有很大的不同,它是紧紧围绕着修理进行的电路故障分析。

### 1. 修理过程中识图

修理识图主要有以下三部分内容:

- 1) 依托整机电路图建立检修思路。根据故障现象,在整机电路图中建立检修思路,判断故障可能发生在哪部分电路中,确定下一步的检修步骤(是测量电压还是电流,在电路中的哪一点测量)。
- 2) 测量电路中关键测试点修理数据。查阅整机电路图中某一点的直流电压数据和测量修理数据。  
根据测量得到的有关数据,在整机电路图的某一个局部单元电路中对相关元器件进行故障分析,以判断是哪个元器件出现了开路或短路、性能变劣故障,导致了所测得的数据发生异常。例如,初步检查发现功率放大器电路出现了故障,可找出功率放大器电路图进行具体的电路分析。
- 3) 分析信号传输过程。查阅所要检修的某一部分电路图,了解这部分电路的工作,如信号是从哪里来,送到哪里去。

### 2. 修理过程中识图方法和注意事项

修理过程中识图的基础是十分清楚电路的工作原理,不能做到这一点就无法进行正确的修理过程中识图。修理识图要注意以下三个问题:

- 1) 主要是根据故障现象和所测得的数据决定分析哪部分电路。例如:根据故障现象决定分析低放电路还是分析前置放大器电路,根据所测得的有关数据决定分析直流电路还是交流电路。
- 2) 修理过程中识图是针对性很强的电路分析,是带着问题对局部电路的深入,识图的范围不广,但要有一定深度,还要会联系故障的实际情况。

3) 测量电路中的直流电压时,主要是分析直流电压供给电路;在使用干扰检查法时,主要是进行信号传输通路的识图;在进行电路故障分析时,主要是对某一个单元电路进行工作原理的分析。修理过程中识图无需对整机电路图上的各部分电路进行全面的系统分析。

### ★3.2.7 印制电路图识图方法

#### 重要提示

印制电路图与修理密切相关,对修理的重要性仅次于整机电原理图,所以印制电路图主要为修理服务。

电子电路图主要有下列6种:

- 1) 框图(包括整机电路框图、系统框图等)。
- 2) 单元电路图。
- 3) 等效电路图。
- 4) 集成电路应用电路图。
- 5) 整机电路图。
- 6) 印制电路图。

印制电路图有两种表现形式。

#### 1. 直标方式

如图3-38所示是直标方式印制电路图示意图。

这种方式中没有一张专门的印制电路图样,而是采取在电路板上直接标注元器件编号的方式,如在电路板某电阻附近标有R7,这R7是该电阻在电原理图中的编号,同样方法将各种元器件的电路编号直接标注在电路板上,如图中的C7等。

如图3-39所示是元器件符号直接标注在电路板正面的示意图。



图3-38 直标方式印制电路图示意图

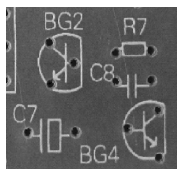


图3-39 示意图

#### 2. 图样表示方式

如图3-40所示是图样表示方式印制电路图示意图。

用一张图样(称之为印制电路图)画出各元器件的分布和它们之间的连接情况,这是传统的表示方式,在过去大量使用。

#### 3. 两种表示方式比较

比较这两种印制电路图各有优、缺点。前者,由于印制电路图可以拿在手中,在印制电路图中找出某个所要找的元器件相当方便,但是在图上找到元器件后还要用印制电路图到电路板上对照后才能找到元器件实物,有两次寻找、对照过程,比较麻烦。另外,图样容易丢失。

对于直标法,在电路板上找到了某元器

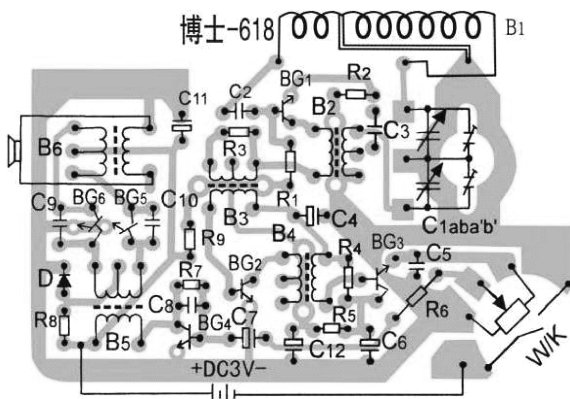


图3-40 图样表示方式印制电路图示意图



件编号便找到了该元器件，所以只有一次寻找过程。另外，这份“图样”永远不会丢失。不过，当电路板较大、有数块电路板或电路板在机壳底部时，寻找就比较困难。

#### 4. 印制电路图作用



##### 重要提示

印制电路图是专门为元器件装配和机器修理服务的图，它与各种电路图有着本质上的不同。印制电路图的主要作用如下：

- 1) 通过印制电路图可以方便地在实际电路板上找到电原理图中某个元器件的具体位置，没有印制电路图时的查找就不方便。
- 2) 印制电路图起到电原理图 and 实际电路板之间的沟通作用，是方便修理不可缺少的图样资料之一，没有印制电路图将影响修理速度，甚至妨碍正常检修思路的顺利展开。
- 3) 印制电路图表示了电原理图中各元器件在电路板上的分布状况和具体的位置，给出了各元器件引脚之间连线（铜箔电路）的走向。
- 4) 印制电路图是一种十分重要的修理资料，它将电路板上的情况一比一地画在印制电路图上。

#### 5. 印制电路图特点

印制电路图具体有下列一些特点：

- 1) 从印制电路设计的效果出发，电路板上的元器件排列、分布不像电原理图那么有规律，这给印制电路图的识图带来了诸多不便。
- 2) 印制电路图表示元器件时用电路符号，表示各元器件之间连接关系时不用线条而用铜箔电路，有些铜箔电路之间还用跨导通连接，此时又用线条连接，所以印制电路图看起来很“乱”，这些都影响识图。
- 3) 印制电路图上画有各种引线，而且这些引线的绘画形式没有固定的规律，这给识图造成不便。
- 4) 铜箔电路排布、走向比较“乱”，而且经常遇到几条铜箔电路并行排列，给观察铜箔电路的走向造成不便。

#### 6. 识图方法和技巧

由于印制电路图比较“乱”，采用下列一些方法和技巧可以提高识图速度：

- 1) 根据一些元器件的外形特征可以比较方便地找到这些元器件。例如，集成电路、功率放大管、开关件、变压器等。
- 2) 对于集成电路而言，根据集成电路上的型号可以找到某个具体的集成电路。尽管元器件的分布、排列没有什么规律而言，但是同一个单元电路中的元器件相对而言集中在一起。
- 3) 一些单元电路比较有特征，根据这些特征可以方便地找到它们。如整流电路中的二极管比较多，功率放大管上有散热片，滤波电容的容量最大、体积最大等。
- 4) 找地线时，电路板上大面积铜箔电路是地线，一块电路板上的地线处处相连。另外，一些元器件的金属外壳接地。找地线时，上述任何一处都可以作为地线使用。在一些机器的各块电路板之间，它们的地线也是相连接的，但是当每块之间的接插件没有接通时，各块电路板之间的地线是不通的，这一点在检修时要注意。
- 5) 印制电路图与实际电路板对照过程中，在印制电路图和电路板上分别画一致的识图方向，以便拿起印制电路图就能与电路板有同一个识图方向，省去每次都要对照识图的方向，这样可以大大方便识图。
- 6) 观察电路板上元器件与铜箔电路连接情况、观察铜箔电路走向时，可以用灯照着，如图3-41所示，将灯放置在有铜箔电路的一面，在装有元器件的一面可以清晰、方便地观察到铜箔电路

与各元器件的连接情况，这样可以省去电路板的翻转。不断翻转电路板不但麻烦，而且容易折断电路板上的引线。

找某个电阻器或电容器时，不要直接去找它们，因为电路中的电阻器、电容器很多，寻找不方便，可以间接地找到它们，方法是先找到与它们相连的晶体管或集成电路，再找到它们。或者根据电阻器、电容器所在单元电路的特征，先找到该单元电路，再寻找电阻器和电容器。

如图 3-42 所示，寻找电路中的电阻  $R_1$ ，先找到集成电路  $A_1$ ，因为电路中集成电路较少，找到集成电路  $A_1$  比较方便。然后，利用集成电路的引脚分布规律找到②脚，即可找到电阻  $R_1$ 。

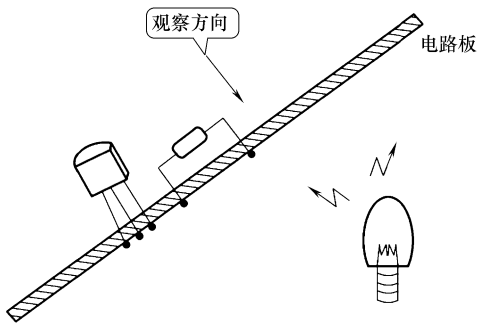


图 3-41 观察电路板示意图

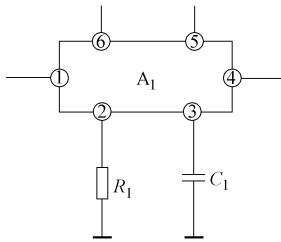


图 3-42 寻找元器件示意图

### 3.3 初步认识信号回路

本节阅读建议：轻松阅读，深刻体会核心要点，坚决掌握，识图中边学边用。

本节难度系数：3 级。

本节记忆系数：6 级。

信号回路是指某个信号或电流所经过的回路，更加具体地讲就是所经过的各元器件构成的电路。

信号回路有两层意思：

1) 信号电流回路。这是一个闭合的电流回路，初学者非常喜欢这样的电流回路分析，以搞明白电流经过了哪些元器件和线路，如图 3-43 所示是一个简单的信号电流回路示意图，这是一个玩具电机中的电流回路示意图。

从电流回路示意图中可以看出，这一电路中的电流经过了多个元器件，即  $E_1 \rightarrow$  闭合的  $S_1 \rightarrow M_1$ 。

2) 信号传输线路。

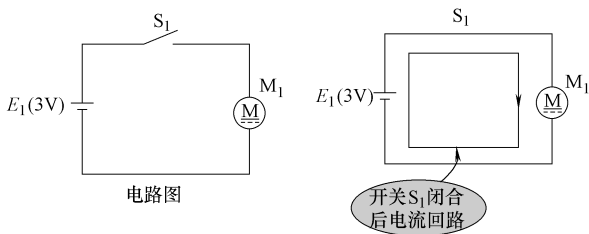


图 3-43 电流回路示意图

注： $E_1$ ：3V 电池； $S_1$ ：电源开关； $M_1$  直流电机

#### ★3.3.1 信号电流回路分析的目的

分析信号电流回路的目的主要有三个。

##### 1. 分析哪些元器件构成了信号电流回路

这里以玩具电机电路为例说明，如图 3-44 所示是接有电源指示灯的电机电路。从图中可以看出，电机  $M_1$  的电流回路只与  $E_1$ 、 $S_1$  和  $M_1$  三只元器件相关，与  $R_1$  和  $VD_1$  无关。

如图 3-45 所示是电源指示灯电流回路示意图，从图中可以看出，这一电流回路与电机  $M_1$  无关，而与  $E_1$ 、 $S_1$ 、 $R_1$  和  $VD_1$  相关。显然，不同的电流回路是由不同元器件构成的，而不同的电流回路在电路中完成了不同的电路功能。



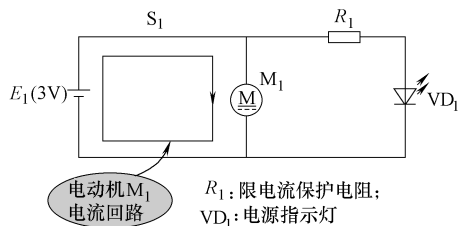
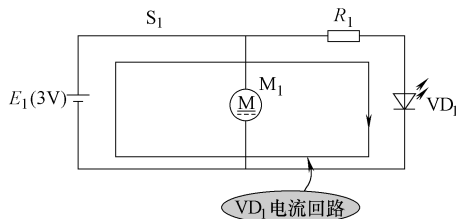


图 3-44 示意图

图 3-45 VD<sub>1</sub> 电流回路示意图

### 分析结论提示

电机电流回路为电机提供驱动电流，其目的是让电机能够转动；电源指示灯电流回路为电源指示灯 VD<sub>1</sub> 提供驱动电流，让 VD<sub>1</sub> 发光指示，表示电路进入工作状态。

## 2. 分析回路中元器件对负载影响

1) 电源开关对电机控制作用。这里以玩具电机电路为例说明回路中元器件对负载的影响，如图 3-46 所示，电路中的电源开关 S<sub>1</sub> 控制电机所在电路是否成回路，当 S<sub>1</sub> 断开时，电机没有回路，这时电路中没有电流，所以电机 M<sub>1</sub> 不转动。当电源开关 S<sub>1</sub> 接通后，电机电路成回路，电路中有电流流过电机 M<sub>1</sub>，电机 M<sub>1</sub> 转动。

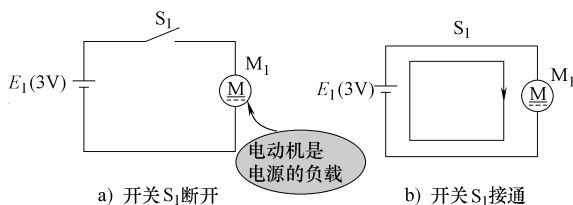


图 3-46 示意图

### 分析提示

通过上述分析可知，在电机回路中，电源开关 S<sub>1</sub> 就是用来控制电机是不是转动的，而电机就是这一电路中的主要元器件，也就是电池 E<sub>1</sub> 服务的对象，所以将电机 M<sub>1</sub> 称为电池的负载。

## 2) 限流电阻对发光亮度影响。

如图 3-47 所示是电源指示灯回路示意图，从图中可以看出，限流电阻 R<sub>1</sub> 串联在 VD<sub>1</sub> 回路中，R<sub>1</sub> 的阻值越大，流过 VD<sub>1</sub> 的电流就越小，VD<sub>1</sub> 就越暗。反之，R<sub>1</sub> 阻值越小，VD<sub>1</sub> 越亮。

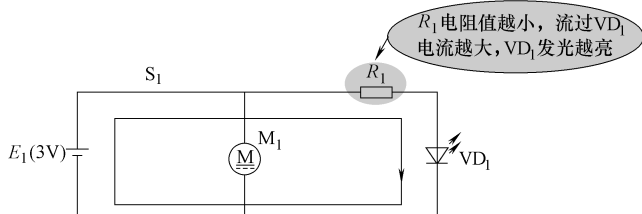


图 3-47 电源指示灯回路示意图

### 公式理解方法提示

对于电阻 R<sub>1</sub> 大小对流过 VD<sub>1</sub> 电流的影响还可以用如下公式说明：

$$I = \frac{U}{R} = \frac{3\text{V} - 1.7\text{V}}{R_1}$$

式中，I 为流过发光二极管 VD<sub>1</sub> 电流；R 为限流电阻；3V 是指 E<sub>1</sub> 电压为 3V，1.7V 是指 VD<sub>1</sub> 管压降。

## 3. 分析信号回路是为了故障分析

故障检修中需要进行电路故障分析，而分析的第一步就是要寻找故障源所在电路回路中的各元器件，例如，上述发光二极管指示灯电路中的不指示故障，需要找出指示灯电路中的所有元器件，然后才能对故障现象进行分析。

### ★3.3.2 电路中产生电流的条件

#### 1. 电路中存在电流流动的两个条件

电路中存在电流的流动，必须同时满足两个条件。

1) 电路成回路。所谓电路成回路就是电路是闭合的，如图 3-48 所示，当开关  $S_1$  接通后电路是成回路的， $S_1$  断开时电路不成回路。

当开关  $S_1$  断开时，电路中没有电流流过，因为没有满足电流产生的条件。

2) 回路中有电源。回路中要有电源，如图 3-49 所示电路中有电源  $E_1$ 。如果电路只是成回路而没有电源，这一闭合电路中也没有电流流动。

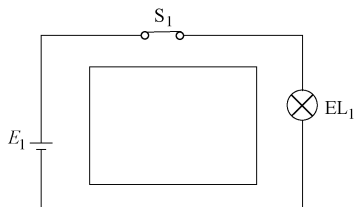


图 3-48 闭合电路

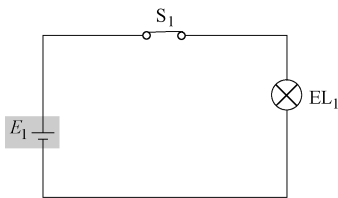


图 3-49 电路中有电源  $E_1$

如果电路有一个电源，但是这个电源不在回路中，这一回路中仍然没有电流。

#### 2. 判断回路中是否有电流关键是看电源

如图 3-50 所示是一个简单的电路，标出了这一电路中的电流回路示意图，图中有两个电流回路，即  $R_1$  电流回路和  $R_2$  电流回路，这一个回路都共用了电源  $E_1$ 。

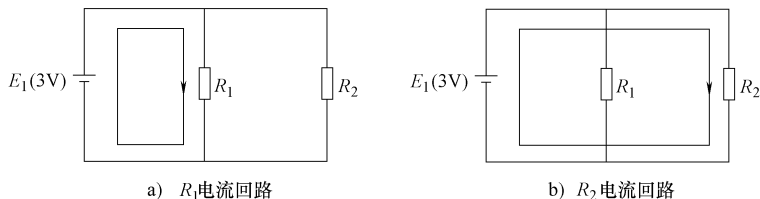


图 3-50 简单电路中的电流回路示意图

如图 3-51 所示是  $R_1$  和  $R_2$  构成的回路示意图，但这一回路中没有电流，这是因为该回路没有电源。所以，并不是所有的回路中都有电流的。

#### 3. 电路回路的简化分析

如图 3-52 所示是电路简化和电流回路简化示意图。在电流回路分析中，可以从电源的“+”端出发，沿回路分析到地线端即可，这样在复杂电路中的分析显得方便。

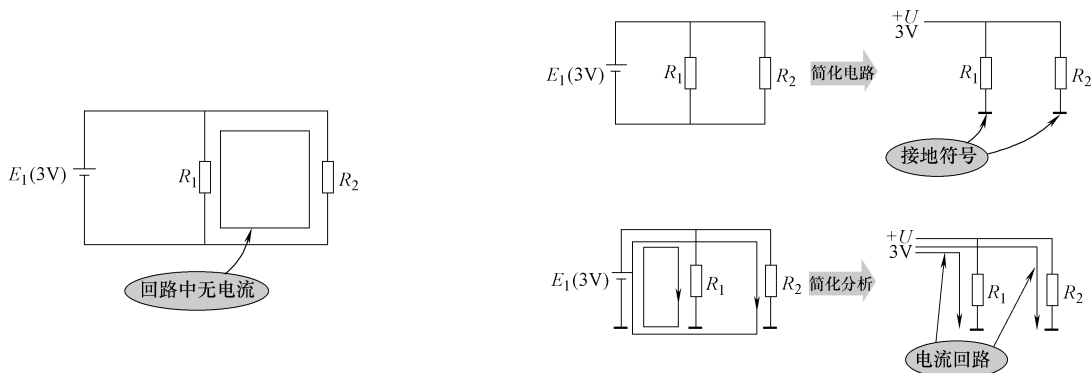


图 3-51 无电流的回路示意图

图 3-52 电路简化和电流回路简化示意图



### ★3.3.3 信号传输线路

信号传输线路分析是电子线路中分析的一个重点内容,通过这一电路分析可以了解信号在整个电路中的传输过程,为“跟踪”信号提供帮助。

如图 3-53 所示是一级放大器信号传输过程示意图,通过这一电路来说明信号传输过程。电路中,晶体管  $VT_1$  是这一电路的中心元器件,  $R_1$  是偏置电阻,  $R_2$  是集电极负载电阻,  $C_1$  和  $C_2$  分别是输入端和输出端耦合电容。输入信号  $U_i$  从  $VT_1$  基极和发射极之间输入,输出信号  $U_o$  取自于集电极和发射极之间。

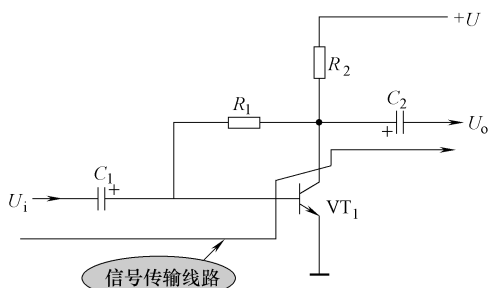


图 3-53 共发射极放大器信号传输过程示意图

#### 1. 信号传输路途

输入信号  $U_i$  由晶体管  $VT_1$  放大,经过放大后的输出信号为  $U_o$ ,信号在这一放大器中的传输路线是:输入信号  $U_i$  → 输入端耦合电容  $C_1$  →  $VT_1$  基极 →  $VT_1$  集电极 → 输出端耦合电容  $C_2$  → 输出信号  $U_o$ 。

#### 2. 分析信号传输线路的目的

分析信号传输线路的具体作用是跟踪信号在整个电路中的传输路途,这一分析表明在信号传输线路各点对地之间都有信号电压,如图 3-54 所示,如电路中晶体管  $VT_1$  基极对地有信号电压,  $VT_1$  集电极对地也有信号电压。

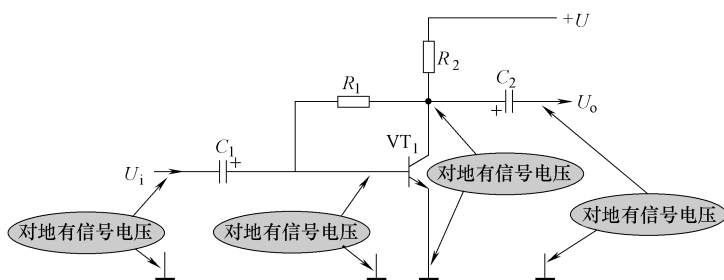


图 3-54 示意图



#### 重要提示

分析电路中的信号传输线路的实用意义非常强,例如,可以用来进行电路故障检修,如图 3-55 所示是用示波器检测电路中信号时的接线示意图,如果在  $VT_1$  管基极检测到信号,而在  $VT_1$  管集电极没有了信号,这说明故障出现在  $VT_1$  放大级。

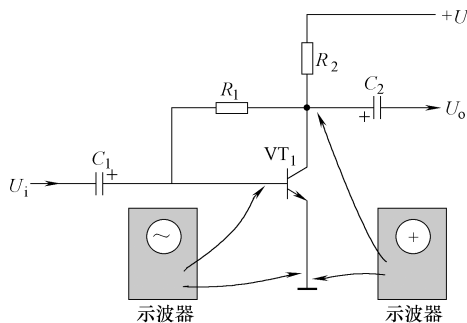


图 3-55 示意图

## 3.4

## 七种学习方法

本节阅读建议:快速阅读,全面了解,学会几种适应自己的学习方法。

本节难度系数：2 级。

本节记忆系数：3 级。



#### 重要提示

初次接触电子技术的人们，由于对电子技术学科缺少了解，不知道如何起步学习，不知道如何运用科学的学习方法进入电子世界。

有位著名教育学家指出：“学习方法的学习对学习很重要。学习方法的学习包括各种通用的学习方法和各门教材相适应的学习方法。”

学习是讲究方法的，也一定有适合自己的好方法！适合自己的学习方法好比是件趁手的神兵利器，披荆斩棘，无坚不摧。拥有这个“法宝”再面对困难，何惧之有呢！

学习的方法虽然众多，但其中必有几种方法比较适合自己。初次接触电子技术，学习内容不清楚，学习方法不得当、不明白，颇有“入道无门”、“走投无路”之感。

电子技术学科也一样，有它特定的学习方法。掌握适合自己的高效、科学的学习方法，将获得事半功倍之功效，在电子技术的学习中将无往而不利。

### ★3.4.1 自主学习法

有句老话：师傅领进门，修行在个人。人的一生中使用自主学习法的时间最长，自己看书、自己动手就是自主学习法。

#### 1. 具备基本条件可事半功倍

为了高效率运用自主学习法进行电子技术的学习，应该具备下列一些基本条件：

1) 自主学习的信心和精神非常重要。这种学习过程中要时刻牢记靠“两条腿走路”的基本方针，学习中遇到的困难首先要靠自己的勤奋思考来克服、解决，学习中动不动问别人不可取，不利于养成“独立自主”的精神。



#### 重要提示

这个世界没有救世主，除了自己没人能拯救你。很多问题都要靠自己亲手来解决，所以独立分析和解决问题的能力很重要，这可以培养自己的创新能力。如果你遇到难题，通过自己独立分析并解决了问题，你那种成就感一定会溢于言表的。

2) 要有自学的基本能力。自主学习过程中，由于主要靠自学，所以掌握一些自学的方法和读书技巧显得相当重要。各门学科，甚至是同一门学科的不同章节内容都有不同的高效学习方法，自主学习过程中不断总结自己的学习心得和经验，寻找、调整适合自己的学习方法、技巧，力求做到事半功倍。

例如，带着问题去阅读，能快速获取所需要的信息。如果想要抓住每一段的主要思想，一般来说，书中每一段的第一句话就提出了主要思想，然后才在后面进行解释，或提供支持这种思想的论据，并在段的最后用一句话作个段落小结或概括。在每一章的后面，通常也有个小结。如果你弄不准作者的主要思想，那就先看一下小结，然后阅读详细内容，或者大略地记下每段的主要内容和思想。

3) 教材选择事关重大。由于自主学习的特殊性，学习过程中找一本合适的教材显得很重要，最好选用那些自学读本，这类书在内容选取、写作方式等方面考虑了自学的基本要求，通常内容系统、层次分明，难度适中，解说详细。

#### 2. 自主学习法特点

自主学习法具有下列一些特点：

1) 学习的主动性强，不受时间条件的制约，能自主选择学习时间，可以自己掌握自己，这是



最“幸福”的事情。

2) 有利于培养自己学习的“造血”能力,大量的知识更新、系统接受知识都是通过自主学习方式完成的。

3) 对于某一专题知识可以采用这种学习方式,在一段时间内通过集中精力强化这一个专题知识的学习,达到短时间内掌握这部分知识的目的。

### 3. 自主学习法注意事项

自主学习法主要注意下列几点:

1) 精心选择教材非常必要,在选择主教材的同时,最好能够选择一两本与之相近的辅助教材,作为阅读中的参考教材。不同的作者对问题的讲述有不同的方式,参考教材能帮助读者更容易理解。

2) 注意:别人行之有效的学习方法,对于自己不一定合适,所以要随时总结自己的学习方法,不断改良学习技巧,为以后的自主学习减轻学习负担。

3) 遇到学习中困难时动不动问别人是一个缺点,它所造成的问题是所接受知识的记忆深度不够,久而久之就养成了“拿来主义”,不动脑筋,不会思考,以后遇上需要独自面对的问题则会一筹莫展,这对今后的学习有害无益。

### 4. 自主学习法适用范围

关于自主学习法适用范围主要说明下列几点:

1) 自主学习法适用于所有的人,特别适用于没有条件进行系统听课的人群,很适合大学毕业刚刚进入工作岗位的大学生。

2) 适用于自己的知识不断更新学习。

3) 对于电子类在校或刚毕业的大学生而言,在校掌握了扎实的基础理论知识、电路设计和计算能力后,再通过自主学习实用的电子电器方面图书,其电路识图能力被运用到电路设计之中,使之设计思路开阔、设计能力倍增,必定为工作、学习提供厚实的基础,而创新能力、理论联系实际能力也得到质的飞跃。

## ★3.4.2 听课学习方法

学习电子技术一般有三种途径:在学校里进行系统学习,这是其一;在各类培训班中进行学习,这是其二;第三种方式是在修理部门跟着师傅边学习修理技术边看书自学。

其实听课学习和看书学习之间并不矛盾,但是两种学习方法在学习方式和效果上有一定的差异,主要是学习效率上的差别。

### 1. 听课学习法特点

关于听课学习的特点主要说明下列几点:

1) 听课学习法的最大特点是,与自己看书相比较其学习的效率高出许多。例如,一本 200 页的书,通过听课可能在 70 课时之内学完,但是如果自己看书则可能需要 300 小时,而且自学过程更为辛苦,付出的精力更多。所以,有条件时应该听课学习。

2) 听课学习法的特点之二是能够系统地掌握基础知识,这是一个需要引起重视的特点,为数不少的电子技术爱好者缺少系统的理论知识学习,结果在识图、检修中处处遇到困难,而且还不能找出学习过程中种种不顺的原因。

有位电子技术爱好者曾问过这样的问题:“参加那些电子技术培训班值得吗?”这样的回答不知能否满意:“用几百元买回几个月的时间是否值得。”

### 2. 听课学习中的困惑和对策

听课学习过程可能存在听不懂的困惑。听不懂的主要原因是基础知识不全面、不扎实。在学习中最难搞定的是基础知识学习,需要系统读书,才能全面掌握基础知识。

在听课前先了解、复习与之相关的基础知识,这样效果也会好许多,能有效提高听课的效率。但是,许多人往往不重视课前的预习。



### 3. 预习可以明显提高听课效果

关于提高听课学习的效果主要说明下列几点：

- 1) 听课前的预习无疑对提高听课效果有效，关键问题是所预习的内容和方式，电子技术学科有它的特点，特别是进行电路分析过程中需要一些基础知识（如元器件的特性、单元电路的特性）来支持电路工作原理分析的理解，如果不了解这些相关的基础知识，那么对电路分析过程中的理解就会显得比较困难，所以预习的内容应该围绕所讲内容的基础知识进行。如果老师在前一次课结束时提示所需要预习的内容那更好。
- 2) 预习的形式可以这样：对将要学习的内容进行快速泛读，阅读过程中在书上划出无法理解的“难点”，以便听课时对这些“难点”倍加留意，在课堂上就解决这些疑点。
- 3) 听完课后及时整理听课笔记对提高学习效果很有用，笔记的整理主要是听课学习中的新内容和重点、难点，以便在复习过程中提纲挈领地拎出重要环节。

### ★3.4.3 实践学习法

电子技术是一门理论与实践联系非常紧密的学科。实践学习法可增强对电子技术的感性认识，从而对掌握电子技术非常有效。

所谓实践学习法就是通过动手操作，或进行套件装配来学习电子技术的方法。实践学习法不仅可以培养动手能力，掌握操作技能，还可以检验、复习理论学习中的知识，发现理论学习中的薄弱环节和问题。

实践学习法的具体实施方法有多种，不同的学习阶段有不同的学习方法。

#### 1. 入门初级阶段实践学习

初级阶段的实践学习主要内容有下列几个方面：

- 1) 万用表常用测量功能的操作学习，测量电阻值、直流电压值和交流电压值。
- 2) 常用元器件的识别和检测学习，元器件很多，入门初级阶段主要是学习电阻器、电容器等元器件，学习这些元器件的外形识别方法、质量检测方法。
- 3) 电烙铁操作方法学习。初学者往往认为焊接学习很简单，这是非常错误的，严格按照焊接规定进行操作才能焊出合格的焊点。



#### 重要提示

实践学习法需要实验器材，在初学阶段主要准备一只普通万用表，一把电烙铁，找一只坏的收音机作为动手实践的器材，通过对收音机的元器件识别、检测、测量达到初步认识电子电路和建立感性认识。

#### 2. 实践学习法特点

关于实践学习法的特点主要说明下列几点：

- 1) 动手操作是它的最大特点。这种实践活动从感性上认识电子电路，通过有形的认知，为理论学习打下基础。动手操作过程是一个立体输入过程，使用了“全脑阅读”，即将各种元器件、电路板作为“图”，从右脑输入信息，全脑处理，大大提高了学习速度和效率。
- 2) 诺贝尔奖获得者，美国医学博士斯佩里提出了“左右脑分工”理论，他用实验证明了人的左右脑具有不同功能：左脑是抽象思维的中枢，右脑是形象思维的中枢。充分利用右脑是快速学习的一个好方式，它的形象性“图形”信息输入有利于记忆犹新。
- 3) 这种学习法需要有一定的器材，相应的测量仪表、检修工具和一些元器件。测量仪表可以是万用表，检修工具是电烙铁、螺钉旋具刀等，元器件可以准备一个坏的收音机，拆下其中的元器件，用来作为实验的元器件。

#### 3. 实践学习法注意事项

关于实践学习法需要注意下列几点：



1) 由于实践学习中已经接触到 220V 交流市电 (操作电烙铁等), 所以人身安全是第一注意点, 掌握必要的安全常识。

2) 用电笔测试电烙铁外壳是否漏电, 或用万用表的  $R \times 10k$  挡分别测量它的插头两根引脚与电烙铁外壳之间电阻, 应该都是无穷大, 否则说明电烙铁漏电。

3) 通过实践所要学习的面很广, 但是实践学习应该从识别、检测元器件入手, 而不是直奔电子电器的修理, 否则修理的失败会造成自信心的打击, 对初学者而言自信心很重要, 是获得持续学习兴趣 and 动力的源泉。实践学习法也应该坚持循序渐进的原则, 有句古话: “欲速则不达。”

4) 实践学习过程中的分类训练很重要。电子技术中, 元器件是组成电子电路的最小单位, 是分析电路工作原理的基础, 也是修理中最终检测、更换的对象, 从了解、掌握元器件的外形特征、结构、工作原理、主要特性、检测方法入门, 再进入电路工作原理的学习。当然, 也不是要求了解所有的元器件, 首先是电阻器、电容器等最基本的元器件。

5) 实践学习过程应该注意在理论指导下进行, 否则就变成了盲目的“乱动手”, 走弯路、费时间是必然的, 所以最好边看书、边实践, 实践的内容与看书的理论知识相结合是最佳的学习方式, 用理论指导实践。例如, 学习有关电容器的特性时, 可以看书后找来电容器进行检测实践。

#### 4. 理论学习与动手实践之间如何相互联系是最佳方式

1) 电子小制作对学习的益处。有了一定的理论基础和动手能力后, 尝试一些电子小制作对自己的理论水平、动手技能、故障分析和处理能力都是有益的, 初次制作时涉及的东西较多, 什么工具、元器件、制作电路板、外壳等, 为了使第一次自己动手获得成功, 应买套件而不是什么自己去配。选择套件时要注意选简单的, 太复杂的也不行, 如可以选择装一个电子音乐门铃或一个简易稳压电源、充电器等。

2) 通过电子制作来提高动手能力。电子制作是一种锻炼自己动手能力的好方法, 它可以锻炼多方面能力, 例如用万用表检测元器件质量, 练习焊接元器件, 学会根据印制图装配元器件, 能够将电原理图、印制图和元器件三者对应起来。当装配后有故障时, 还可以学着运用万用表进行电压、电流的测量, 元器件的在路检测等。

3) 先电子制作再进行修理学习。在条件允许的情况下, 应该多进行几次电子制作后再进行修理实践, 因为电子制作是有思想准备的动手实践活动, 可以比较容易地做到从简单到复杂, 从一般到特殊, 而电子电器修理中故障的种类繁多, 知识结构不完备时很难达到预期效果。

4) 初次电子制作套件装配前准备工作。将套件中的电阻器和电容器别在一张纸上, 通过万用表测量或识别, 在每个元件旁标出电阻器的阻值大小, 电容器的容量大小, 并标出它们在电原理图中的电路编号, 以方便装配。用万用表检测套件各元器件的质量, 并清除元器件引脚上的氧化层, 以防止影响焊接效果。看懂电原理图的工作原理, 在有装配说明时要认真阅读。

5) 装好配件后电路没有实现正常功能是件好事。套件若一次性装好后就能正常工作, 这样的装配实验意义不大, 出现问题反而是好事, 通过修理会学到更多的东西, 同时也锻炼了自己发现问题、分析问题、解决问题的能力。

修理时, 先检查元器件是否装错位置、二极管正极和负极是否装反、晶体管的三根引脚是否搞错等, 再重新熔焊各元器件的引脚焊点 (对初学者而言这是一个大问题), 必要时可以全部拆下后重新焊接。上述检查无收效后, 仔细分析电路的工作原理, 再进行测量直流电压、检测有关元器件 (在焊接过程中容易损坏元器件) 等。

### ★3.4.4 爱好者讨论学习法

讨论学习法是一种两人或多人在一起通过讨论、切磋的学习方法。几个人凭借共同的兴趣爱好, 聚集起来组成兴趣讨论和学习小团队, 在交流之中互相探讨学习中的经验教训或疑难点, 从而达到共同进步的目的。

俗语说的好: 三个臭皮匠, 赛过诸葛亮。依靠大家集体的经验智慧, 对问题的解决是卓有成效的。

爱好者讨论学习法最大优势在于，共同兴趣走到一些的初学者，通过讨论学习实现共同的提高。

### 1. 爱好者讨论学习法实施步骤

1) 确定讨论对象。一般情况下参与讨论的人是同学，或是相识的电子技术爱好者，参加的人数可以是两人，或更多的人，大家的水平比较接近，产生的疑难点也比较相似，不会产生交流上的障碍，如果水平参差不齐，对讨论的主题会有很大影响。当然，如果在参加讨论的对象中能有一两个高手那也是不无裨益的。

另外，网络技术的发展使这种讨论学习法在网络之中进行成为可能，素不相识的人之间的讨论学习现在已相当普遍。网络的出现，拉近了我们彼此间的距离，异地间的实时交流已不再陌生。虽未曾谋面，虽远隔千里，手指在键盘上跳舞，思想在网络中激荡出智慧的火花。随着屏幕上出现的文字，你会对电子技术得到更好的领悟。

2) 确定讨论主题。确定参与讨论人员后，通过商量可以就大家共同感兴趣的某个专题作为讨论的主题。主题的确定非常重要，首先是大家对主题都有兴趣。

其次是难易恰当，主题内容越具体越好，越有利于取得好的学习效果。例如，讨论电源电路中的滤波电路工作原理。

最后，有的才能放矢，对于所要完成的事情有个明确的目标，才能顺着这个方向前进。如果只是泛泛的空谈，浪费时间不说，也解决不了实质性问题。

3) 准备讨论材料。正所谓“工欲善其事，必先利其器”。

为了使讨论取得实效，充分准备材料非常有必要。“兵马未动，粮草先行”在学习中有现实的指导意义。

材料准备过程和结果直接关系到讨论的质量，即讨论的广度和深度。例如，在讨论电源滤波电路工作原理时，要准备滤波电容、滤波电感的特性，准备  $\pi$  型 RC 滤波电路、多节  $\pi$  型 RC 滤波电路、 $\pi$  型 LC 滤波电路和高频滤波电路等。

4) 讨论过程。讨论过程中应该有一位主持人，协调讨论进程。讨论过程可以由一名人员主讲，然后其他人员补充。这样才会使讨论在合理、有序、高效中进行，不会产生“群龙无首，七嘴八舌”的现象。

协调进程的主持人最好是讨论问题的发起者，这样比较能掌握讨论进程，纠正偏离方向的情况。如果主持人的电子电路知识比较全面或者技术高于其他讨论者，也能胜任。

### 2. 爱好者讨论学习法特点

关于讨论学习法的特点主要说明下列几点：

1) 这种学习方法中自己既当学生又当先生，发挥了主观能动性，调动了自主学习的积极性。特别是自己当先生时，通过口述不仅重复了一次所掌握的电子技术知识，更重要的是这种表述能长期留在记忆中，同时也检验了自己对所讨论专题知识的掌握程度。如果自己不懂是无法讲述出来的，所以能够正确地讲述也表明初步掌握了该专题知识。

2) 口述是指对学习材料的维持性的言语重复或在选择基础上的保留重复。口述所涉及的认识过程主要是：选择——把注意放在一定对象（即问题）上，获取——使材料转入工作记忆。科学已证明，口述能强化记忆，并加深理解。因为它使多个感觉器官同时运作。

3) 能够培养自己积极探讨问题的学习态度和习惯。有了这种钻研的精神，改“要我学”为“我要学”。内因解决了，晓以时日，必有一个令人满意的结果。

4) 有利于提高自己独立分析和解决问题的能力。尼采说：上帝死了。诚然，这个世界没有救世主，除了自己没人能拯救你。很多问题都要靠自己亲手来解决，所以独立分析和解决问题的能力是很重要的。

5) 由于水平相近的人在一起讨论，所以亲和力比较强，讨论热烈、气氛活泼，有益于相互学习，共同进步。



6) 由于是专题讨论,所以注意力比较集中,学习的效率比较高,能够突破某一个知识专题的难点。

7) 每次确定一个专题,讨论前的准备和讨论中的讲述,复习、提高、巩固了这个专题知识,别人讲述有可能启发自己,也有利于完善、引申自己对该专题知识的掌握。

### 3. 爱好者讨论学习法适用范围

关于爱好者讨论学习法适用范围主要说明下列几点:

1) 由于专题讨论的针对性比较强,所以掌握一定电子技术基础知识后进行这种讨论效果更好。如果没学会走路就想学习跑步,一定会歪歪倒倒,磕磕碰碰,跌跌撞撞。学习电子技术也同样如此,所以夯实基础势在必行。

2) 遇到学习中困难问题时,通过这种讨论学习可以比较快和较好地解决难题。

3) 由于现代网络技术的高速发展,讨论学习法已经可以不是传统意义上的面对面方式了,通过网络可以采用多种形式进行:

① 在 QQ 中的爱好者中进行,优点在于实时进行。

② 进入电子技术 BBS 中进行,优点在于论坛中的许多经验技术帖,会给你很大帮助。

③ 通过电子邮件进行,优点在于问题的针对性解答比较强。

④ 专用聊天室进行讨论,如 QQ 群,优点在于点对面的交流。

以上 4 种形式各有优缺点,请参照适合自己的方式组合进行。

### 4. 爱好者讨论学习法注意事项

关于爱好者讨论学习法的注意事项主要说明下列几点:

1) 确定的专题讨论内容要得到大家的同意,应该是有兴趣的或是急需要解决的问题,这样大家才有积极性,参与其中,否则讨论学习的效果受影响。

2) 讨论中要积极参与,“拿来主义”即只听不讲其学习效果也受影响。因为缺少了自己锻炼思维的机会,容易被别人的观点所左右。只有积极参与,才能使自己的思路 and 眼界更加开阔,提高自己发散思维的能力。

意识到问题的存在才是思维的起点,有问题的思维是主动性的积极思维。当感到自己需要问“是什么”,“为什么”,“怎么办”,“怎么样”的时候,此时的思维已经发动,否则,思维就难以开展和深入。因此,具有强烈问题意识的思维,体现了思维品质的活跃性和深刻性。而强烈的问题意识,又可作为思维的动力,促使人们去发现问题,解决问题。

3) 如果讨论学习中对某个概念或某个电路的分析理解意见不统一,可以各抒己见,尝试各圆其说,通过“争论”加深对这一问题的印象,然后求教书本或请教老师加以确认,实践证明这时的印象会非常的深刻。

4) 每次讨论学习后应该写一份小结报告,通过这种形式可以进行归纳和小结,进一步加深讨论印象。及时巩固能起到一种复习的作用。以后再出现类似的问题,可以参照小结报告加以解决。也可以在小结中对自己薄弱环节进行注释,以谋求改进。

## ★3.4.5 制订计划学习法

几乎所有的人在学习过程中都制订过学习的计划,通过这种形式可以促进学习,张扬学习激情,并为量化学习效果提供了可能。



### 重要提示

对于电子电路的初学者来说,在学习过程中,有计划地解决自己的双基(基础知识、基本技能)问题,循序渐进,持之以恒地向理想中的目标迈进,以“学会”的技巧实现“会学”的目的。一个人的每次成功,都是由需求——动机——目标——计划——行动来实现的。



### 1. 制订计划学习法计划内容

关于计划内容主要说明下列几点：

1) 明确学习目标。可以是某一章的学习计划，例如学习电源电路一章。没有目标的学习，就像航行没有指南针，没有雷达，学习的盲目性会削弱你的学习热情，学习无成效很可能是逻辑的必然，结果是浪费时间和精力，挫伤了自己的学习积极性和自信心。

2) 分解目标内容，量化学习计划，确定大目标和小目标，大小目标结合。例如，将电源电路一章中各节内容列出，分别计划。

3) 为方便学习过程中的量化，以页码为量化标准。例如，电源电路一章共有 30 页，每天学习 3 页，计划用 10 天完成学习。

4) 学习计划的具体化、细节化有利于学习计划的操作，可操作性高可以促使自己按部就班地执行学习计划。

5) 列出全章学习后的复习、小结计划，写出复习后的小结书面报告。复习和小结所需时间通常占计划总时间的 20% 左右。

6) 制订学习计划时只有时间要求还不够，还要有相应的学习量与质要求，实践证明，记学习笔记是最好的量与质的保证形式，然而在实操中，人们往往会忽视这点，所以要规定每天的学习必须做多少字的笔记。学习的早期应该注意学习的量变。

### 2. 制订计划学习法特点

关于制订计划学习法的特点主要说明下列几点：

1) 可以量化学习效果是它的最大特点之一。每天学习 3 页内容，那么 10 天后按计划学习了 30 页内容，使学习效果变成了可以量化，这种量化在学习过程中非常必要和重要。从量变可以到质变，每天学习就是量变过程，学习计划完成就是无数量变到质变的过程推进。

2) 可以感觉天天在进步。由于学习过程中每天都完成 3 页内容，随着学习的进行自己会感觉到在进步，能从量的角度感觉到学习已有收获，所以对自信心的张扬和光大非常有益。这种自我激励反过来也会产生学习的动力，两者相辅相成，相得益彰，形成良性循环。日积月累，坚持数月或数年，必有成效。

3) “强迫”自己。这种学习法带有点“强迫”性，计划可以“强迫”自己在学习中做到“守信”，使自己坚持按计划进度学习。马斯洛语：“如果一个人想要按照真理去生活，正如他们看到的真理一样，他们就需要自我强化。”

4) 可以挤出时间学习。有了这种学习计划，可以挤出时间，能够培养自己良好的学习自觉性，养成学习习惯，从而达到提高学习效率的目的。

### 3. 注意事项

关于制订计划学习法运用过程中要注意下列几点：

1) 饭要一口一口吃，谁也不能一口吃个胖子。计划的制定要量力而行，首先要保证可操作性，即通过自己一定的努力能够实现计划的学习目标，否则对自信心有损伤，不利于后面的学习。

2) 初次尝试制订计划学习法时，将计划的时间短一点，例如制订一周时间的学习计划，学习的内容简单点，充分保证能够按时保质地完成学习计划，这对后续的学习计划制定相当重要。

3) 做学习笔记很有讲究，工整、整洁、连续、统一的笔记不仅读来赏心悦目，而且极具“诱惑”力，促使自己按照统一的形式、规定的格式连续记下去，同时这样的学习笔记具有收藏价值，待自己成功时回首艰辛的学习过程会倍感自豪。

4) 脑力劳动与体力劳动的疲劳是不同的，脑力劳动的疲劳主要表现为对学习的厌倦和兴趣的减弱，所以学习过程中的适当休息很有必要。如果不讲究用脑规律，学习效率下降，影响正常学习。当自己感觉学习效率不高，最好的办法是快速放下书本，尽情放松自己的身心，或是高歌一曲或是狂奔山野，学习的高手会采用一种非常另类的方法放松自己：放下原来学习，转入另一项与前性质不同的工作，例如从理论学习转向动手学习，用一种学习放松另一种学习。





5) 脑力劳动的休息可以采用多种休闲形式,例如户外的信步,边走马观花,边回忆方才的学习内容,可以达到休息和复习两不误。

### ★3.4.6 研究型学习法



#### 重要提示

在具备了一定的基础理论和实践知识后,为了提升自己的理论高度,系统而全面地掌握电子技术,可以采用研究型学习法。

#### 1. 研究型学习法的基本要求

采用研究型学习法学习电子技术应该具备下列几点基本要求:

- 1) 具有比较好的基础知识,比如了解什么是放大器,什么是负反馈电路,什么是谐振电路等基本概念。
- 2) 已有了一定的自学能力,通过看书能够解决一些难点问题。
- 3) 具备一定的资料收集能力和整理能力,能够通过各种媒介广泛收集相关的资料、电路图、数据等。
- 4) 具备分析整机电路中局部单元电路的能力。

#### 2. 研究型学习法具体做法

关于研究型学习法的基本原理主要说明下列几点:

- 1) 这种学习方法的特点是通过系统地研究某一个专题电路,达到系统而深入地掌握这一专题电路知识的目的,颇有些“一叶落而知天下秋”的境界。
- 2) 在选定某一学习专题电路之后,深入挖掘这一专题的相关内容,广泛地收集与此专题相关的资料、电路图,进行研究分析,归纳整理,写成专题学习报告,力图全面而系统地掌握该专题电路知识。
- 3) 对某一个专题电路的研究学习具体内容包括:该专题电路的功能和特点、典型电路工作原理、收集并分析同功能不同电路(即电路的各种变化电路)工作原理、电路的故障检修分析等。

这里以整流电路为例,说明研究型学习法具体的实施过程。对于整流电路种类而言,需要收集、整理、分析的电路种类有下列几种:

半波整流电路,正极性和负极性的。

全波整流电路,正极性和负极性的,正负极性混合型的。

桥式整流电路,正极性和负极性的。

倍压整流电路,正极性和负极性的,二倍压的和多倍压的。

力求收集、整理、分析各种类型的整流电路。

#### 3. 研究型学习法的注意事项

关于研究型学习法的使用注意以下几个问题:

- 1) 不具备一定的电子技术基础知识的初学者不适合使用这种学习方法,因为知识面有限,无法运用这种学习方法。
- 2) 用这种学习法的优点是能够对某一个专题电路有一个深度而全面的掌握,只有通过对许许多多专题的研究型学习才能系统全面的掌握电子技术。
- 3) 由于这种学习方法需要大量的时间,所以整个学习进程较长,需要有耐性和恒心,否则很难达到全面掌握电子技术的目的。
- 4) 对于各个专题的选择也要分层次展开,可以先选择一些常用的、简单的电路专题进行学习,逐步地拓展知识面。

### ★3.4.7 网络学习法



#### 重要提示

网络学习法是运用互联网进行电子技术学习的方法，根据网络技术平台所提供的功能，可以有多种形式的学习。

#### 1. 网络学习法中的 BBS

进入一个电子技术方面的专业网站，找到它的 BBS，进入后会看到各个专题栏目，如基础电路、电源技术、放大器技术等，选择相关专题，或是阅读或是提问。关于在 BBS 中的学习主要说明下列几点：

- 1) 在 BBS 中可以看到一些与自己水平相近的电子技术爱好者所提的问题，了解学习中的困难和问题，为自己的学习做好心理准备。
- 2) 在对某一个问题的解答中会有许多的跟贴，这样可以比较全面地了解这些跟贴内容，从而对这个问题有一个比较全面的认识。
- 3) BBS 这种形式是互动形式的，比较活泼，特别是一些电子技术爱好者在一起讨论或争论某一个问题，不仅可以学到知识，还可以通过发帖说明自己的观点。
- 4) BBS 中的各种专题很多，各种各样的问题及众家解答也很多，可以在那里扩展自己的知识面。
- 5) 在一个人气很旺的 BBS 提出自己学习中的问题，通常很快就有热心的电子爱好者给予解答。在 BBS 中可以认识许多志同道合的爱好者。
- 6) 许多 BBS 中是支持上传电路图的，这样可以方便电路的分析。但是，书中的电路图要通过扫描仪之后才能上传到 BBS 中。
- 7) BBS 中有很多精华帖，上面给出的是其他一些爱好者的经验和方法，可以借鉴和学习，对自己帮助很大。

#### 2. 网络学习法中的电子邮件

网络中的电子信件功能与普通信件功能基本相同，更为快捷和方便。关于通过电子邮件进行电子技术学习主要说明下列几个问题：

- 1) 采用电子邮件进行电子技术学习时，通常有确定的对象，例如可以与某一个网友请教问题，索取交流等。
- 2) 通过电子邮件也可以实现快速的一来一往的方式请教与回复。
- 3) 采用电子邮件进行提问或回复比较从容，时间的自由度大，可以在方便的时候处理电子邮件。
- 4) 通过电子邮件的附件形式还可以发出电路图。

#### 3. 网络学习法中的 QQ 聊天学习

通过 QQ 可以快速进行非面对面接触式的交流、提问、回答，关于这种学习方式主要说明下列几点：

- 1) 在电子技术的 BBS 中，许多电子技术爱好者会主动留下他们的 QQ 号，为了组成一个小小的学习小组，可以有意识地找一些同行网友。在选择网友时，可以根据他们在 BBS 中的回帖或提问情况，初步了解他们的电子技术水平。
- 2) 在 QQ 中讨论电子技术的学习，非常的快捷，有问有答，一来一回，能及时解决学习中遇到的问题。
- 3) 注意找几个水平高于自己的网友，这样在学习中有问题时可以及时得到帮助。
- 4) 在 QQ 中还可以开一个“我的群”，它相当于一个小型的聊天室，一群水平相近的网友在一起讨论、学习，对自己很有帮助。



#### 4. 网络学习法中的注意事项

因为网络内容相当繁杂、无序，对于辨别、梳理能力还不成熟的初学者来说，很难驾驭，切不可沉迷于网络而忘了学习电子技术。

### 3.5 电子技术学习中的困惑和误区

本节阅读建议：细心阅读，深刻领会，努力化解学习起步阶段的困惑。

本节难度系数：2级。

本节记忆系数：8级。

#### ★3.5.1 零点起步困惑的辅导

##### 1. 学习之初存在众多困惑很正常



学习电子技术过程中，特别是初级阶段会出现许多困惑非常正常，“总是记不住”、“有没有快速学习的方法”等，但是当我们不能正确对待和处理好这些学习初期的困惑就会影响正常的学习，怀疑自己的学习效果，干扰学习的进程，严重时甚至使学习半途而废。

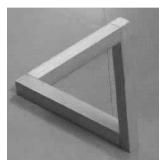


##### 重要提示

如果在早期将这些困惑“灭掉”，那可以赢得更多的时间和宝贵精力，大大提高学习的“性价比”，在这个信息海量的时代，快速学习、少走弯路显得尤为重要。

学习电子技术过程中的误区主要是方法上的和理解上的，通过一段时间学习、体会、实践会得到改善的。

##### 2. 学好电子技术之心理预备



学习电子技术时要做好一些心理准备，在学习之初就应该认识到可能出现的困难，例如学习方法的问题，学习目的的问题，学习中遇到困难如何处置的问题，整个学习需要多少时间的问题，电子技术至少需要学习哪些知识的问题，如何检验学习效果的问题，如何处理好理论学习与动手实践之间的问题，从事电子技术行业前途的问题，学好电子技术后就业方向的问题，以及学好这门课程需要哪些准备知识的问题等。

##### 3. 学习电子技术到底有多难



学习电子技术到底难不难，难的话有多难，最难的又是什么呢？

学习任何一门技术都难，世界上没有不通过努力和刻苦学习就能掌握的技术。同时，难与不难是相对的，是动态变化的。

在学习之中掌握了学习方法后，在努力和用心后，在运用了学习技巧之后，难的问题可以化解成不难，或只是小难。在学习取得小小进步和成功后，又促进了学习的信心和获得了新的动力，那么通过这种类似的“正反馈”，学习电子技术就变得容易得多，不信为何有许许多多的人掌握了电子技术，在专业领域取得了巨大成功。



##### 重要提示

综上所述，在学习电子技术之初，不可认为这门课程很容易学好，不可掉以轻心，同时也不畏惧它的复杂性，做好充分的心理准备，打一场有准备之仗，这样比盲目上阵要轻松许多。

#### 4. 学习之初重在立竿见影初见成效



学习之初大多数人都是怀疑自己学习是否正确,投入的时间和精力是不是得到了相应的“回报”,这种心理是非常正常的,为了不使自己失望,需要在学习之初就见到学习的效果,给自己强大的信心和学习的动力。

为了使自己在学习之初能见到效果,学习的起步阶段学习就显得十分重要了,特别是学习的切入点很重要。如果开始学习的起点过高脱离自己的实际情况,学习过程中遇到许多不能理解的问题,一段时间下感觉困难重重,信心丢失,怀疑自己的学习能力(其实是方法不对,不是自己的错),这对以后的学习不利,要努力开好局。

所以,学习之初要视自己的基础知识水平情况,适当选择好起点的高度就显得十分科学和必要。古人云:“万事开头难”也给了我们足够的警示。

#### 5. 良好开局要注意些什么?

为了有一个良好的开局,需要注意多个方面的问题。



1) 教材选择,选择不当看不懂,学习时问题多,所以教材的起点要根据自己的情况定,难度要适中。

2) 先理论还是先实践,还是边理论边实践。根据自己的实际情况可以进行一些选择,有实践条件的可以先实践,有个感性认识。没有实践条件的从理论学习起步也是很好的选择。

3) 学习电子技术从电路分析起步还是从元器件知识起步。这一点非常明确,从元器件学习起步。

#### 6. 泛读



学习之初应该采取先整体了解后重点突破的学习方法,即对将要学习的内容通过快速阅读,了解整体内容,不在具体内容和问题上停留,通过一次泛读在了解整体内容的同时,也将需要精读和突破的内容和问题勾出,在接下来的重点突破中加一一击破。

#### 7. 精读



精读是重点突破,对于书中的核心内容和难点内容需要精读,精读的核心主要有以下几点:

1) 用心、用力、用足够时间以求彻底搞清楚,精读过程中需要参考书,对同一个问题学习过程中难以理解时,在另一本教材中寻找对同一个问题的解说,以帮助自己扩大理解的思路和视野。

2) 精读过程要使用笔记这种学习形式,它虽然传统但是行之有效,特别这种学习形式对自己的心理会产生正面影响,具体体现了学习过程中从量变到质变的哲学思想。

3) 精读的目的不只是在于掌握一两个问题,而是在于学会学习的方法,掌握适合自己的学习方式,这将受益于日后的学习全过程。

#### 8. 学习的起步



1) 从元器件知识的学习起步是最为科学的,这部分知识难度不大,也是最能看到学习成果的,有利于增强信心。

2) 学习初期可以参与一些简单的实践活动,例如找一个旧收音机或其他电子电器,打开外壳后观察里面的电子元器件,结合元器件书中的讲解进行实践活动。必要时可以进入一家元器件商店,在那里可以看到大量的元器件实物,可以对形形色色元器件建立一个初步的印象,可以与书本中学到的元器件知识一一对应,这会有利于元器件的理论知识学习。

3) 在建立了初步完整的元器件知识体系后,可以转入电路分析的学习,这个过程主要是理论知识的学习,需要持续一个相当长的时间。



4) 在系统地学习了元器件知识和电路工作原理后,可以进入故障检修的理论学习和实际技能学习,这时学习检修故障技术的效果会很好,困难会少了许多。

上述一轮学习完成之后,可以认为完成了学习的初级阶段,即较为全面和系统地了解了电子技术,具备了进一步学习的能力,将进入提高阶段的学习。

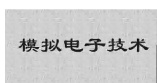
### ★3.5.2 零点起步的教材选择

#### 1. 教材选择事关起步学习质量



初学者选择入门学习用的电子技术图书时很重要,由于基础知识的贫乏和对整个电子技术课程的不了解,学习用书的选择往往带有盲目性和随意性,而入门学习的教材是否恰当是关系到学习初期是否顺利的大事。

#### 2. 大专院校的电子技术类教材



这类教材的特点是理论性内容多,公式和计算更多,内容不够广泛,与实际应用距离更远。从全面掌握电子技术和实际能力培养角度上讲,这类教材还远远不够,还需要补充大量的电子元器件知识和系统的实用电路分析内容。

学习实用电子技术不宜采用这种教材,这类教材还不适合自学。

从事电子线路设计的初学者,可用这类图书作为精读教材,但是不在学习初期,而是在掌握元器件知识和大量实用电路分析基础之后。

#### 3. 元器件知识类图书

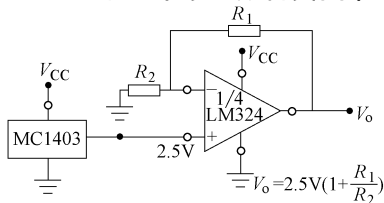


这类图书以讲解元器件知识为主,入门学习时应选择这类图书,因为电子元器件是电子电路的最小单元,也是电路工作原理分析和电路故障检修的基础。

如果书中能全面讲解元器件知识那更好,如讲解元器件识别方法、重要特性、质量检测方法,特别是讲解了元器件的典型应用电路,这对初学者从元器件到电路分析的过渡非常有益。

这类图书的特点是实用性强,针对性强,是初学者的首选读本。

#### 4. 电路工作原理分析类图书



这类图书以大量的常见、实用电路为例,系统而详细讲解这些电路工作原理,书中几乎没有计算公式,是以培养电路分析能力为主要目的的图书。



#### 重要提示

从学习应用技术角度上讲,这类图书的实用性非常强,阅读后就能立即解决实际问题。对于将来从事电路设计的读者而言,在掌握了大量的实用电路之后对电路设计也非常有益,可以从中借鉴电路设计思想、移植局部电路等。所以,以这类图书作为精读课本是非常需要的和必要的。

#### 5. 整机电路分析类图书

这类图书市场上比较少,它是以讲解整机电路工作原理为主线条,书中也有可能有一部分电子线路基础知识,但是内容贫乏,不够详细,缺少系统性,初学者看起来吃力。

阅读这类图书要求读者的基础知识全面、扎实。对于已经具备一定电子技术基础知识的初学者,可以用这类图书作为学习电子电器整机电路的精读教材。



## 6. 动手技能类图书



这类图书以讲解动手技能方面的知识,如万用表使用方法,元器件检测方法,焊接技术和通用性的修理方法。这类书通常不仔细讲解元器件知识和电路工作原理,所以初学者应该在掌握一定的元器件知识和电路分析能力后阅读,也可以与元器件知识和电路分析类书同步学习。

## 7. 专业修理技术类图书



这类书也不适合初学者阅读,因为这类书中对电子电路的工作原理讲述甚少,其重点是介绍故障的检修技术,初学者看不懂,也很难从原理上根本掌握电子技术。

### 重要提示

修理技术方面的知识应该在全面而系统地掌握了电路工作原理之后进行学习,这样效果才比较好,购置这类图书应在学习的中后期。

## 8. 资料手册类图书

例如集成电路应用手册,最新晶体管资料大全等。这类图书不适合初学者阅读,它们是工具、资料类的图书,在学习的中后期进入电子线路设计或修理时需要这类工具书。

## 9. 图册类图书

这是修理资料类图书,也不适合作为初学生学习电子技术的主教材,但是初学者有了一定的基础知识之后,可以用这类图册作为分析整机电路工作原理图书,以扩展自己的知识面,提高电路分析能力。

## 10. 电子版图书



有一部分人喜欢阅读电子版的图书,理由有许多,主要一点是认为可以省钱,其实这更加浪费钱,特别是对于初学者危害更多。

1) 入门阶段需要系统地学习,这要大量的时间去看书,而阅读电子版图书开着电脑就电费来说也比书价贵出好几倍,经济上肯定不合算。如果是付费阅读那这费用也要计算在内。

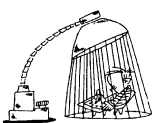
2) 电子版图书盗版的比较多,书中不清楚之处甚多,特别是图、图中字不清楚,造成阅读的额外负担。

3) 阅读电路分析内容时,如果电路图和电路分析内容不在同一窗口时,需要不断拖动窗口,影响正常的阅读理解。

4) 不利于保护眼睛,有害于健康。

初学者应该杜绝电子版图书阅读。网络阅读的优势在资料查找的方便,所以在进行电路设计等工作时,可以借助网络的快捷和方便查找相关资料。

## 11. 初学者自主学习教材



作为一个自学为主的初学者,除了正确选择电子图书的类型外,还要掌握下列几点,以便减小自学过程中的困难,达到顺利渡过初学时期的“艰难困苦”阶段。

1) 主教材应该包括这样几部分内容:一是元器件基础知识,二是电子电路基础知识,主要是识图方法等,三是修理理论和动手操作基础知识。如果一本图书不能包含这些内容,则可以选择两本或是更多本图书,但必须包括这些基础知识。

2) 辅导教材也是需要的,由于是自学,学习过程中的“为什么”比较多,在选择一本主教材的同时,如果能有一本类似的辅导性教材,对初学阶段的自学相当有益,可以参考辅导教材中的相同内容,解决学习中的问题和困难。



### ★3.5.3 系统学习效果显著

#### 1. 系统学习减少知识断层



解决方案

系统学习可以减少知识断点，减少学习初期的困惑，系统学习是初学者学习中必须遵守的原则，是学习中最需要注意的方面。

电子技术学习过程中的理解是一层层展开的，用下一层知识来支撑上一层的知识点，是层层推进的理解过程。

判断自己是不是经过系统学习，或是系统学习是不是取得了效果，可以看学习中的问题是不是多得吓人，如果学习中有一大堆问题那肯定没有好好地完成系统学习。

#### 2. 系统学习的重要性



这里通过一个实例来说明系统学习的重要性。

学习晶体管多级放大器电路工作原理时，它需要晶体管单级放大器知识来支持它，而单级放大器知识又是晶体管基础知识支持的。如果没有掌握晶体管基础知识和单级放大器工作原理，学习多级放大器的困难要比系统学习多出几倍来。



#### 重要提示

进行无障碍学习的好方法是从基础知识开始系统地学习，减小知识的断面和断点，反对跳跃式学习，学习之初可能不了解这种学习的危害性，结果学到的知识结构如同虚线，断点太多，让后续学习困难重重。

#### 3. 系统学习的重要性举例说明

这里举例说明系统学习的重要性，如图 3-56 所示是电子滤波器电路，理解这一电路工作原理必须具备下列知识，否则就无法正确理解和分析这一电路工作原理。

1) 掌握晶体管直流电路工作原理，否则无法理解和分析电子滤波器直流电压供给电路，而电子滤波器电路分析的重点就是直流电压供给电路。

2) 电子滤波器相当于一只非常大的滤波电容，具体讲相当于一只容量比  $C_2$  ( $100\mu\text{F}$ ) 大  $\beta$  倍的滤波电容，即相当于一只  $100 \times \beta\mu\text{F}$  滤波电容。如果不掌握晶体管电流放大倍数  $\beta$  概念，那么这个电路工作原理理解与分析将无法进行。

3) 电子滤波器工作原理理解和分析过程中，对  $R_2$  和  $C_2$  电路的分析和理解至关重要，这里需要掌握阻容滤波电路工作原理、电容的容抗特性和阻容分压电路工作原理。

从上述几点看，如果不系统地学习，比较全面地掌握电子技术基础知识，那么分析和理解电子滤波器电路工作原理就不可能。

#### 4. 坚决拒绝不良学习方法

1) “东一榔头，西一棒子”的学习方式危害深远。如果学习之初，这本书看点那本书看点，这势必造成知识不成体系，知识断点太多。正确的方法是以一本书为主教材，从头至尾系统地看完，建立初步的知识体系。

2) 不要用电子类杂志作为入门学习的教材，杂志中文章的特点是短小精悍，最大的缺点则是系统性不强。在学习后期，进行资料查询或是学习比较前沿知识时才去阅读杂志，杂志的优势在于它更新更快（相对于图书而言）。

3) 急于求成想法可以理解，但是古人早有警示，欲速则不达，越是急，事情就越办不好，古

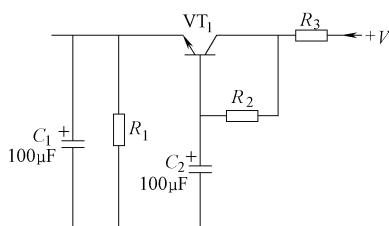


图 3-56 电子滤波器电路

人这些话是充满智慧的总结，不可不信。正是由于急于求成的想法，放弃了系统学习的做法，结果“搬起石头砸自己的脚”，不断补课，不断浪费时间和精力。

4) 克服自满情绪，踏实地完成系统学习。阅读过程中，对于已经掌握的知识可转向细节发现和思考为主的学习方式，以求强化知识的深度。

需要充分认识基础知识的重要性和基础知识的完整性，有利于克服一些学习中坏习惯，将系统学习进行到底。

### 5. 系统学习方法及强化措施

系统学习有两种方式：一是将一本书坚持看完，二是对某个专题进行系统学习，例如学习电源电路。系统学习的基本目的是，建立对一个方面知识的较完整体系。

系统学习过程中需要一些“形式主义”，这些形式有利于系统学习的展开和持续下去，有利于取得实质性的收获。



1) 整理学习笔记。这种方式虽然传统，但是管用，通过系统地整理学习笔记，印象比较深刻，特别是在整理笔记中多画电路图，画电路图的过程是一个很好的复习和检验学习效果的过程。

2) 归纳学习内容。在完成一章内容学习之后，对所学内容进行归纳，如果能用自己的语言加以复说那效果会更好。

## ★3.5.4 学习初期困惑的解决方案

### 1. 总怀疑学习是否收到了效果



这种现象很大程度上是信心不足的表现，或是学习方法不当的问题，只要学习方法正确，通过一段时间学习一定会有收获。

要对学习抱有坚定的信心，坚持学习，科学学习，定能在学习中成长。

### 2. 学习初期应照单全收



学习过程中总是怀疑自己对一些问题理解是不是正确，总是希望能请教老师，讲述对问题的看法，然后得到老师的肯定，或是总是怀疑老师这样讲是不是正确，或是这本书上这样讲是不是错了，这些都是错误的，学习初期应照单全收。

怀疑态度直接后果就是降低了学习效果。

### 3. 学习初期没有水平怀疑这怀疑那

学习初期不应该存在怀疑的态度，因为不具备找错这样的水平，而且图书也好，老师讲课也好，不会错到让人严重怀疑的程度，所以要克服怀疑态度，照单全收，提高接收信息的信息量。

电子技术基础知识是成熟的知识，不存在大量出错的可能性。

### 4. 持怀疑态度学习消耗了学习热情

如果学习初期总是持怀疑态度，使学习热情受到抑制，而学习热情在学习是非常重要的因素，是学习的动力源之一，应该加以保护和发扬，而不是进行抑制。

### 5. 持怀疑态度增大了学习“成本”

怀疑时，需要动用大量的脑力进行思考，它消耗了脑力和宝贵时间，分散了注意力，对学习效果严重干扰，大大增加了学习“成本”，所以得不偿失，应该全力避免。

### 6. 从分子层面理解错得很离谱



电子技术是一门实用技术，它不是基础理论，学习过程中对工作原理的理解不能从分子层面进行，否则既没有实用意义，还大大加强了学习负担，是错得很严重的学习误区。



## 7. 正确对待元器件工作原理的理解

学习元器件知识中要了解它的结构,掌握它的工作原理,但是没有必要从分子结构层面去理解,列举下列一些学习中的误区。

1) 对于二极管 PN 结结构和工作原理没有必要从载流子这个层面去理解,学习电子技术不是学习元器件制造技术,不是学习半导体材料,应该将主要精力和时间放在应用电子技术学习上,因为有许多实用技术需要时间和精力去学习,否则本末倒置。

对于二极管重要特性好多情况下是无法用理解的方法去记忆的,此时只能背,这些用多了就能记忆清楚。例如,对于二极管的单向导电特性,死记硬背所用的精力和时间也比从载流子层面理解还要少,学习就是要寻找那些“成本”较低的方法。

2) 对于晶体管的许多重要特性也需要死记硬背,没有必要试图去理解它们。例如,集电极电流比基极电流大  $\beta$  倍,在晶体管造出来后它就有这样的特性,至于为何有这种特性是元器件制造技术范畴的事情。

元器件特性学习中会有许多类似的情况,为了以较小的学习成本获得更多的知识,有时必须采用死记硬背的方式。

## 8. 分层次理解方法

电子电路分析过程中需要培养层层分析理解的方法,克服任何问题都从底层理解的方法和习惯,这好比学会了乘法就不要全靠加法来计算题目。比如,多级放大器工作原理理解方法。分析多级放大器首先要掌握单级放大器工作原理,否则难度大。

对于阻容耦合三级放大器,其中的第一、二、三级放大器都是标准的单级放大器,只要掌握了阻容耦合电路工作原理,以及级间退耦合电路工作原理,那么对这个三级放大器的分析就显得相当简单,因为这是建立在掌握单级放大器基础之上的。

## 9. 已经掌握的电路没有必要进行电流回路再分析

通过学习已掌握的电路没有必要再进行电路回路的分析与理解,只需要掌握结论就可以。例如,分压电路工作原理分析时,需要进行电流回路分析,得到分压电路输出电压大小与哪些因素有关的结论,在掌握了结论后,下次遇到分压电路就没有必要再进行电流回路分析。

## 10. 信号输入回路和输出回路分析的误区

如图 3-57 所示是信号输入电流回路示意图,信号输出源上端输出信号电流,经  $C_1$  耦合加到  $VT_1$  管基极,从  $VT_1$  管发射极输出,经电阻  $R_3$  到地端,通过地线到信号源下端,经信号源内电路形成回路。

在掌握了这一电路信号输入电流回路之后,以后可以不必进行这样的分析,只要进行如图 3-58 所示的分析即可,即输入信号  $U_i$  经  $C_1$  加到  $VT_1$  管基极,从  $VT_1$  管发射极输出,经  $R_3$  到地端,其余的分析可以省去,这样可大大简化电路分析,且不影响对电路工作原理的理解。许多电流回路分析中,只需要分析到电流流入地端即可。

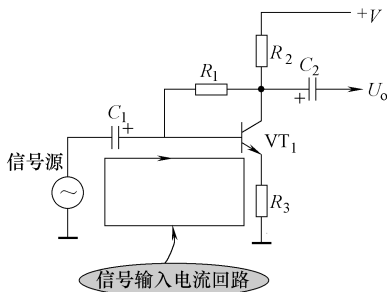


图 3-57 信号输入回路

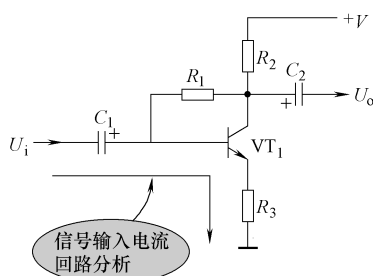


图 3-58 示意图



### 11. 总是记不住怎么办



记不住很正常，毕竟过目不忘的人少之又少，再说有一些内容记不住也没有问题，知道它们在书的哪里就可以，需要时能及时找到它们。但是，总是记不住可能就有问题了，应该从下列几个方面检讨一下学习方法和过程。

- 1) 学习过程要静心，看书要认真，如果学习过程不连续，有时间就看，没有时间就不看，这种断断续续会影响记忆的有效性。
- 2) 没有系统地学习，系统学习可以帮助记忆，因为各个知识点之间具有相关性，连续起来学习有助于整体记忆，记忆一个知识板块可以记忆许多的知识点。
- 3) 采用做学习笔记的形式强化记忆，对于电路分析部分的学习，在学习一种电路后试着进行画电路的练习，这是一种非常有效的记忆方法，如果能不看书画出电路图，那说明掌握的程度已比较高。
- 4) 适当动手，加强感性认识，特别是一些理论与实际联系比较紧的知识通过实践可以大大加深印象。
- 5) 加强理解性学习，不要死记硬背，电子技术的许多知识都是可以在理解的基础上接受的，理解性记忆的时间长，掌握牢。

### 12. 到底怎样才算看懂电路



初级要求应该做到以下几点：

- 1) 能够分析电路中的直流电路工作原理和交流电路工作原理，能够分析信号的传输线路。
- 2) 能够分析电路中各元器件作用。

高级要求在初级要求基础上还要做到以下几点：

- ① 能够画出电路图。
- ② 能够分析电路中每个元器件出现开路、短路等现象后电路所出现的故障现象，这是电路故障分析过程。

### 13. 学习一阵后感觉没有进步咋办



1) 学习的内容比较零碎，不是进行的系统学习，所以感觉没有进步，需要改变学习方式，进行系统地学习，使知识连成片，形成体系。

2) 学习的内容是一些基础性知识，一时还没有用到它，所以感觉到学习没有较大的进步。

3) 学习进入一个平台期，在这个期间内会感觉学习没有新的突破，这也是正常现象。

### 14. 对于一些纯理论性知识学习困难咋办

在学习教材过程中遇到大量的计算和纯理论知识是相当正常的，为了克服学习中的枯燥无味可以采取下列一些措施。

1) 根据当前纯理论知识的学习内容，阅读一些相关的实用知识，以支持纯理论知识的学习。例如，在计算放大器输入和输出阻抗时，学习一些关于提高放大器输入阻抗的电路，以及学习阻抗匹配方面的实用知识。

再例如，计算晶体管静态工作电流时，可学习关于晶体管静态电流对放大器性能影响的实用知识，学习不同类型放大器对晶体管静态电流的不同要求方面的知识。

- 2) 端正对理论学习的重要性认识。
- 3) 端正对学习中大量计算的认识。

## ★3.5.5 动手实践学习困惑的解决方案

### 1. 没有实践机会咋办

电子技术学习过程中理论与实践的结合可以提高学习效果，但是学习的时间和精力不能平均分





配,理论学习需要绝对的主要精力和时间,因为理论学习的内容和难度都比动手技能学习多和难。

动手技能的学习通常有几个月时间就可以做到一个相当好的程度,可以掌握动手操作的一般技能,可是理论学习没有几年是达不到比较好的程度。而且,没有理论指导下的实践活动是盲目的,是粗糙的,也是无法继续提高动手水平和能力的。



#### 重要提示

一些观点认为电子技术没有学好是因为动手机会少,或是学校安排的实验项目少,其实这些观点是错误的,也是危险的,以此为借口放松理论学习就是错误的。

### 2. 动手实践有哪三个层次

1) 初级阶段的实践活动主要是元器件识别和焊接实习。初级阶段的实践可以在学习的初期进行。可以找一个旧收音机等作为实习机器,可以熟悉元器件也可进行焊接和拆卸元器件实验。也可以利用收音机中的元器件,使用万用表进行元器件的质量检测实验。

这样,通过一个小小的收音机就可学会动手的初步技能,并有了很好的实验材料。所以,找不到实验器材不是一个好的理由和借口。

2) 中期可以通过套件装配提升解决问题的综合能力。建议采用分立元器件收音机套件来完成这项实验。通过收音机套件装配,不仅可以有整机装配的实践,还可以学会一些测试、调试和故障处理技术,还能更好地学习用理论指导实践。

别小看收音机,它虽然普通,但是不简单,它涉及的电路类型比较多,有高频电路、变频电路、中频电路、检波电路、音频电路等,认真地完成这个套件实习从中可以学到许多的知识。

在完成套件装配实践之后,可以进行大量电路故障检修的实践活动,这个阶段的实践将能迅速提高解决问题的综合能力。

中期实践活动可以在完成系统的电路分析学习之后,这个期间的实践活动要强调理论指导下完成,重要提高实践活动的质量。

3) 后期阶段可以进行产品设计实践活动,以检验、培养和提高创新能力。可以参与一些社会实践活动,在工厂或公司参与一些产品的研发,在实际工作中锻炼和壮大起来。

### 3. 学了好久电子技术为什么还是不能检修故障



如果在学习修理的初期就遇上了一些难度大的故障,那么就会感觉到检修故障比较困,这是碰巧了,坚持下去就行。

电子电路故障种类多,具体故障更为繁杂,疑难杂症的检修难度是相当大的,所以检修故障要分成几种情况。

1) 常见故障检修是相当容易的。许多故障都是属于常见故障,故障现象简单,变化不大,故障检查和处理比较简单。例如,整流二极管开路故障造成的直流工作电压下降故障等。

在真正地掌握了电路工作原理,系统地学习了检修方法、修理理论、故障机理和处理方法后,对于这类故障的检修很容易。但是,如果没有进行这些系统的学习,那检修故障还是会存在较大困难的。

2) 疑难故障检修本身就相当复杂。就是高手遇上疑难杂症也是头疼的事情,所以这时感觉困难是正常的。

3) 缺少修理资料的故障也存在修理难度。当所检修机器相关资料不全,如没有电路图或是没有关键测试点的修理数据,这时对故障判断也是有困难的。

### 4. 收音机装配可以大幅提高动手能力

大学生如何提高电子技术方面动手能力一直是争论不休的话题,学生抱怨学校提供的实验环境



不佳,其实问题并不在于此,如果能真正意义上装配一个分立元器件收音机,那么动手能力将会迅速提高,关键是有没有去认真和真正地装配收音机,通过这一装配活动去真正学习动手技能。

### 5. 通过收音机可以学到哪些电路

不能小看收音机,收音机涉及的电子电路面比较广,学好收音机电路工作原理可以掌握下列一些电子电路工作原理:

- 1) 可以掌握基本的电子元器件知识,包括外形识别、电路符号识别、重要特性、检测方法等。
- 2) 可以掌握常用电子元器件的典型应用电路。
- 3) 可以掌握常用的串联电路、并联电路、分压电路等电路工作原理。
- 4) 可以掌握 LC 谐振电路工作原理,例如收音机的输入调谐电路就是使用了 LC 串联谐振电路,选频放大器中也使用了 LC 并联谐振电路。
- 5) 可以掌握放大器电路工作原理,包括直流电路和交流电路。收音机中的中频放大器、音频功率放大器都采用了放大电路。
- 6) 可以掌握振荡器电路工作原理。例如,收音机中的本机振荡器就是一种正弦振荡器电路。
- 7) 可以掌握检波电路工作原理,例如调幅收音机中的检波器电路。
- 8) 在掌握了收音机整机电路工作原理之后,学习电视机等整机电路工作原理就会简单得多(电视机中的许多单元电路工作原理与收音机电路基本相同),为日后学习其他电子电器整机电路工作原理打下了扎实的基础。

### 6. 通过收音机装配可以学到哪些技能



- 1) 掌握了焊接技术,电子技术所需要的动手能力有了一定水平的提高。
- 2) 掌握了万用表的欧姆挡、直流电压挡、直流电流挡、交流电压挡的操作方法,并学会了使用万用表检修电子电路的常见故障。
- 3) 初步具备了电路故障的逻辑分析和推理能力,学会了从故障现象分析故障原因的方法。

## ★3.5.6 兴趣的产生、兴趣链反应和学习的竞争

### 1. 兴趣对学习的支撑作用



学习很辛苦,没人怀疑;但没有目标,缺乏兴趣的被动接受,只会导致在学习的道路上越走越窄。

没有兴趣的学习,如同嚼蜡,索然无味,因而更艰苦。

有兴趣,学习会相对轻松,毋庸置疑;

有兴趣,能产生学习的源源不断动力,逻辑必然;

有兴趣加有源动力,轻松学习,更容易奏效;

有兴趣的学习感觉不那么辛苦,也不在计较学习过程中的困难,而专注其中,以苦为乐,强化了自愿付出的心境。

虽然兴趣对学习不是万能的,可是没有兴趣的学习颇有点“万万不能的”味道。

### 2. 扫描电子从业人员

已经进入电子技术领域的人们,在最初接触电子技术的原因是多种多样的,但是从兴趣这一角度可以归纳为两大类。

学习和工作的需要进入了电子技术领域,考取了大学或进入了电子工厂,开始接触电子技术,他们在之前或许对电子技术一点兴趣没有,出于“生路”或“糊涂”之中“被迫”进入电子技术领域,这是其一。这一类中也有许多在工作中对电子技术发生了兴趣,转被迫为主动了。

另一类是自幼早有兴趣,主动作出了进入电子技术领域的抉择,为数不少的还是原先专业并非电子方面的,因为对电子技术“情有独钟”,半路改行了。



有兴趣,会有乐趣,显然第二类的从业人员能在工作中体会到无穷无尽的乐趣,化工作的艰辛为快乐,并且其乐无穷。

### 3. 兴趣的由来



兴趣也许是天生,也可以后天养成,更多的是偶然激发而就,遇到一个善于培养兴趣的老师,是学生的福气,老师不仅要教好书,还要用心引发学生的学习兴趣。同理,如果能见到一本好书,能让您兴味盎然,弃之不去,那您一定会从兴趣起步,步入电子天地,数以千万计的电子技术爱好、从业人员欢迎您的最新加盟!

兴趣的发生、发展是有过程的,这需要培养、引导和发展。

### 4. 兴趣链反应和学习中的竞争

兴趣需要转化为持续的自觉学习行动,并且也能够有助于加速这种转化。

兴趣转化为持续的学习行动是一种链反应:兴趣引发自主学习,学习中的小小成功又加大了兴趣的力度,更大力度的兴趣使自己不由自主地投入更多的学习精力,张扬了学习的热情,学习将取得新的连绵不断成功是显然的。



综观成功者的起步阶段,往往会有惊人的相似之处,在起步之旅中的孤独、无助,有许多兴趣的成分促使他们“心甘情愿”地饱尝奋斗的艰辛,有许多是“情不自禁”、“废寝忘食”地投入自主学习。

无数的成功者都有这样一个影子:事业的成功中,早年的兴趣爱好似起有“决定性”的作用。

培养兴趣,发展兴趣,让兴趣为自己日后漫长事业之旅奠定坚如磐石的意志基础吧。

### 5. 目的性对自主学习的支持力度

没有目标的学习,注定是短命的行为。

对学习科学技术而言,仅有浓厚的兴趣,没有明确的学习目的也是不行的,否则学习是没有持久力和源源不断动力的,当遇到学习中的困难时就会挑战兴趣的可信度,事实证明有兴趣但最终放弃兴趣的人群中,为数不少的就是没有学习的目的性。

兴趣加上明确的学习目的性才能在自主学习中坦然面对无数种种困难,做到战无不胜,攻无不克,到达成功的彼岸。

学习的目的是为了在提高自身文化技术、素质修养的同时,更多的是为了眼前的学业或工作、事业,与长远目标、理想“配套”的近期学习目标才能够引发自主学习激情,目标越加具体、明确,自主学习的热情越加高涨。小目标和大目标相互结合,虽不能一口吃个胖子,但水滴石穿。

## ★3.5.7 大学生学习指针

### 1. 大学生学习电子技术“路线图”



为了学好大学电子技术教材,也是为了培养电子技术实际能力,大学生学习电子技术“路线图”是:

- 1) 快速了解电子技术学习内容,了解学习目标和方向。
- 2) 学习初期迅速建立感性认识,如熟悉电子元器件和整机内部结构,为后续理论学习建立一个有形和立体的电子世界,可使理论学习有形化,化解一些纯理论学习的困惑。

例如,在计算晶体管静态工作电流时就能联想到晶体管这个具体的元器件,实现先有感性认识再有理性认识。

3) 阅读一些常用电子电路工作原理的书籍,掌握它们的工作原理,然后再学习对这些电路的计算,这种先定性分析再定量分析的方法比较轻松,也使学习大学电子技术教材过程中的各种计算更明确、更具体,否则计算了半天也不知道用在何处。

## 2. 大学生理论学习与动手之间矛盾



一部分大学生对学校的电子技术实践环节颇有微词，认为动手实践的机会太少，影响了理论学习的效果。这样的观点虽有一定的道理，但从更高的一个层面来认识这个问题，可能会发现理论与动手之间的矛盾并非不可调和。

电子技术是一门理论与实践联系非常紧密的学科，从大学学习期间的要求看，主要是能力培养，尤其是打下扎实的基础理论，如果用百分比来说明理论与实践之间的比例，大学学习期间90%的时间和精力应该放在理论学习上。

大学学习期间的动手操作能力培养并非不重要，也不是非常困难，如果通过几个套件的制作，一些电子电器的修理便能具备基本的动手操作能力，会具有较好的感性知识基础。

所以，电子技术学习的重点还是应放在理论学习上，实践动手则为辅。

理论学习内容广泛，大学教材上的基础理论、电路设计原理是一个重要方面，而大量的实用单元电路识图是另一个重要的方面，这种识图学习是全面掌握电子技术必不可少的环节，而且有益于大学电子技术教材的学习，遗憾的是大学电子技术教材中对电子电路识图的训练内容甚少。本套“电子工程师必备”丛书力图弥补这个遗憾，构建理论与实际之间的桥梁，打通大学理论学习与实际能力之间快速通道。

阅读完成时间：\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日，用时\_\_\_\_天。

签 名：\_\_\_\_\_

阅读体会：（请写10个收获最大的知识点关键词）

阅读困惑：（请写10个最难理解的知识点关键词）

## 新概念电子电路入门基础知识点“集中营”

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！

本章阅读建议：反复快速阅读，全章系统地快速阅读两次，每读一次可以掌握一些基础知识点，然后时常回顾性阅读，进行巩固和掌握更多的基础知识点。通过本章阅读可以使基础知识的宽度得到有效扩展。

本章难度系数：5 级。

本章记忆系数：7 级。

**重要提示**

在学习电子技术初期，对一些常用电子技术名词和概念有一个初步的了解很有必要，许多情况下初学者看不懂书，与不了解电子技术名词和概念有关。

**4.1****直流和交流电流知识点“集中营”****★4.1.1 直流电流知识点****1. 强电与弱电**

通常情况下，把电力、照明用的电能称为强电。强电的特点是电压高、电流大、功耗大、频率低，主要考虑的问题是减小损耗、提高效率。

相对强电而言，把传播信号、进行信息交换的电能称为弱电。弱电的特点是电压低、电流小、功率小、频率高，主要考虑的问题是信息传送的效果，如保真度、速度、广度和可靠性等。

**重要提示**

弱电一般是指直流电路或音频、视频线路、网络线路、电话线路，直流电压一般在 24V 以内。

**2. 电流**

水的定向流动称为水流，如图 4-1 所示，电流也一样，电荷有规律地定向流动称为电流。



图 4-1 示意图



### 重要提示

电流只能在导体中流动，例如电线、电路板上的铜箔电路、电子元器件的金属引脚等。电流有大小和方向之分。

### 3. 直流电流

电流有直流电流和交流电流之分。

电流大小和方向不随时间变化而变化的电流称为直流电流。电流的大小和方向时刻变化的电流称为交流电流。

在电路分析中，常用电流的波形来说明问题，直流电流可用坐标来表示。如图 4-2 所示，横轴为时间（ $t$ ）轴，纵轴（ $I$  轴）表示了电流  $I$  的方向和大小。0 表示时间、电流大小为零。从图 4-2 中可以看出，当时间在变化时，电流  $I_1$  的大小和方向均不变，所以这是一个直流电流。

### 4. 电流强度

电流有大小之分，它取决于单位时间内通过导体截面积的电荷量多少。通过的电荷量越多，电流越大，反之则小。

直流电流的强弱可以用图形表示，如图 4-3 所示。从图中可以看出，直流电流  $I_1$  大于直流电流  $I_2$ 。

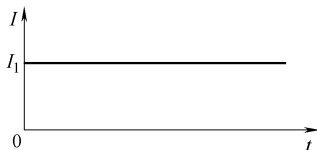


图 4-2 直流电流

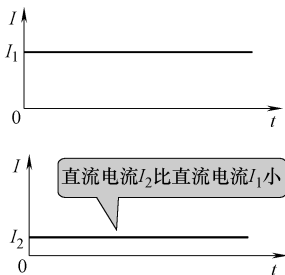


图 4-3 示意图

### 重要提示

在分析直流电路工作原理过程中，时常会用到两个直流电流相对大小的概念。

电流用  $I$  表示，单位为安培，简称（A）。电流的单位除安外，还有千安（kA）、毫安（mA）和微安（ $\mu A$ ）。在电子电路中主要用 A、mA 和  $\mu A$  来表示，它们之间的换算关系如下：

$$1\text{kA} = 1000\text{A}$$

$$1\text{A} = 1000\text{mA}$$

$$1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$$

### 5. 电流的方向

电流不仅有大小之分，而且还有方向。

### 重要提示

在不同的导体中形成电流流动的电荷可以是正电荷，可以是负电荷，也可都有。但规定正电荷流动的方向为电流的方向。

分析直流电路工作原理时，会用到直流电流的流动过程分析，如图 4-4 所示，此时要掌握直流电流流动的方向。

电路中，电流流动的方向是：直流电源（电池）正极→开关→负载→直流电源（电池）负极→直流电源（电池）内部→直流电源（电池）正极。

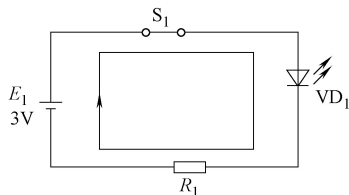


图 4-4 直流电流的流动过程

### 重要提示

电流始终从直流电源的正极流出，经过外电路流到电源的负极，再通过电源内电路成回路。



### ★4.1.2 交流电流知识点

#### 1. 交流电流

电流的大小和方向随时间变化而变化的电流称为交流电流。

1) 正弦电流波形。交流电流的具体种类很多,在电路分析时常用具有正弦特性的交流电流来说明,如图4-5所示是正弦电流波形示意图。

横轴为时间轴,纵轴为电流轴,从波形中可以看出,电流的大小在改变,方向也在不断地改变,这就是交流电流的特点。

2) 交流电的正半周和负半周。如图4-6所示,正弦交流电的正、负半周是对称的。正、负半周的电流方向相反。

3) 电流变化规律。如图4-7所示,在 $t_0$ 处,电流大小为零,到 $t_1$ 时增大到正方向的最大值,称这一值为振幅或峰值。到 $t_2$ 时,电流又为零。从 $t_2$ 开始,由正半周变化到负半周,在负半周内电流为负值,即电流方向与正半周时相反。当到 $t_3$ 时,为负半周的最大值。到 $t_4$ 时,电流又为零。

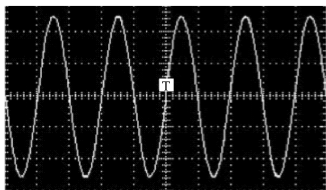


图4-5 正弦电流波形示意图

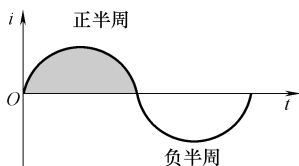


图4-6 交流电的正半周和负半周

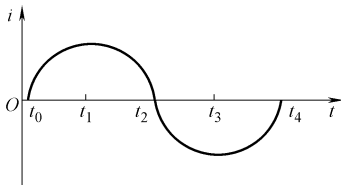


图4-7 示意图



#### 重要提示

电流的变化规律相同,并重复变化,将这种重复变化的交流电流称为周期性交流电流。

4) 正负半周电流方向。如图4-8所示是交流电流正、负半周电流方向示意图,可见正、负半周电流方向是相反的。

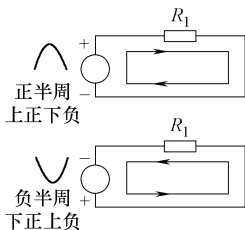


图4-8 交流电流正、负半周电流方向示意图

#### 2. 交流电周期

周期是指交流电流重复变化一次所需要的时间,周期的单位是s,用 $T$ 表示,如图4-9所示。周期在日常生活也常用,例如一个星期是7天。

#### 3. 频率

频率是指交流电流在1s内重复变化的次数,如图4-10所示,用 $f$ 表示单位为赫兹(Hz), $f$ 与 $T$ 之间关系是 $f=1/T$ 或 $T=1/f$ 。并有:

$$1\text{ kHz} = 1000\text{ Hz}$$

$$1\text{ MHz} = 1000\text{ kHz}$$

如图4-11所示是两种不同频率信号波形示意图。

#### 4. 交流电峰值

如图4-12所示是交流电峰值示意图,从图中可以看出,正半周波形的最大值称为正峰值,负半周波形的最大值称为负峰值。

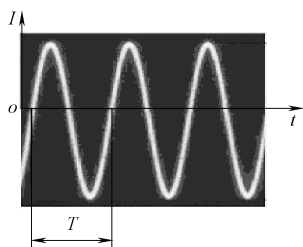


图 4-9 示意图

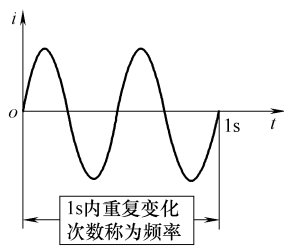


图 4-10 示意图

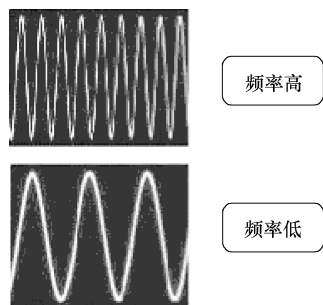


图 4-11 两种不同频率信号波形示意图

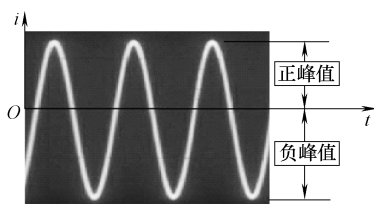


图 4-12 交流电峰值示意图

### 重要提示

交流电的幅值时时在变，只在某一个时刻达到正峰值，在某一个时刻达到负峰值。

## 5. 交流电峰—峰值

如图 4-13 所示是交流电峰—峰值示意图，从图中可以看出，所谓峰—峰值就是正峰值与负峰值之间的幅度大小。

在一些电路分析中需要峰—峰值、正峰值和负峰值的概念，对此要有所了解。

## 6. 交流电有效值

交流电流用瞬时电流大小来说明很复杂，时常用有效值来说明，其定义是：一个周期内交流电流对负载所产生的作用，和一个直流电流对该负载所产生的作用相等，那么这一直流电流大小称为交流电流的有效值。

正弦交流电流的有效值等于峰值电流的 0.707 倍，如图 4-14 所示。

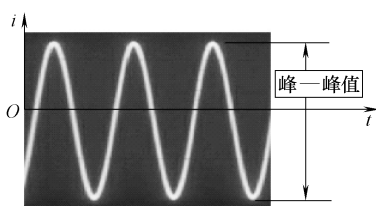


图 4-13 交流电峰—峰值示意图

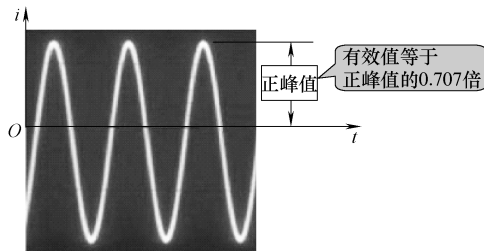


图 4-14 示意图

## 7. 交流电平均值

交流电平均值的定义是，在交流电流的半个周期内，所有瞬时值的平均大小为平均值，或是一个周期内绝对值的平均值。

交流电平均值等于峰值的 0.637 倍，如图 4-15 所示。

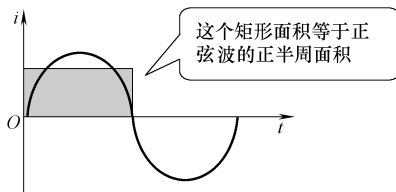


图 4-15 示意图



## 4.2 电位、电压和电平知识点“集中营”



### 重要提示

电子电路分析中，电压一词出现的频率最高了，如输入信号电压、输出信号电压等。

### ★4.2.1 电位和电压知识点

#### 1. 电位

带电体周围存在电场，电场对场内的电荷有力的作用，电场力会使电荷移动。规定电场力将单位正电荷从电场中某一点移动到参考点所做的功称为该点的电位。

显然，参考点选择不同时，某一点的电位就不同。为了方便，在电子电路中通常以金属底板为参考点，规定其参考点的电位为零，这样低于参考点的电位是负电位，高于参考点电位的是正电位，可见电位有正、负之分。

电位有高、低之分，它的含义是：电场力移动单位正电荷所做的功越多，说明正电荷所在点的电位越高，反之则越低。

#### 2. 电位单位

电位的单位是伏特，简称伏，用V表示。电位单位除伏之外，还有千伏（用kV表示）、毫伏（mV）和微伏（ $\mu\text{V}$ ），各单位之间的换算关系如下：

$$1\text{kV} = 1000\text{V}$$

$$1\text{V} = 1000\text{mV}$$

$$1\text{mV} = 1000\mu\text{V}$$

#### 3. 电压

电压是衡量电场力做功能力大小的物理量。

电场中两点之间的电位差（两点电位之差），称为电压，用 $U$ 表示。



### 重要提示

电压类似水压，众所周知，水在压力下流动，电路中的电流流动也需要电压的“驱使”。

用电压也可以说明电位，即电位就是电场中某点和参考点之间的电压。

电压的单位同电位的单位一样。电压也有正有负。

- 1) 电压也有大小和方向，也有直流电压和交流电压之分，其定义同直流电流和交流电流定义相同。
- 2) 电压也可以用波形来表示，如图4-16所示，其方法同前介绍的电流波形表示方法相同。
- 3) 交流电压的频率、周期、最大值、峰值、峰—峰、有效值、平均值等定义同交流电流的相同，如交流电的峰值电压等。
- 4) 如图4-17所示是交流和直流电压混合后的波形示意图，从图中可以看出，它相当于交流电压“骑”在了直流电压上，即交流电压加上一个直流电压。

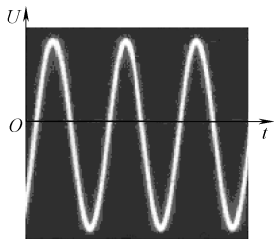
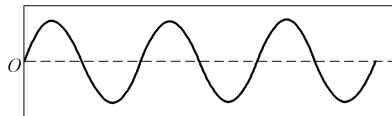
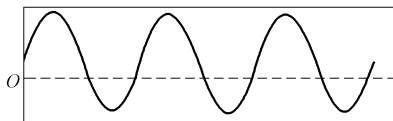


图4-16 示意图



a) 没有直流电压的交流电压



b) 含有直流电压的交流电压

图4-17 示意图

### ★4.2.2 电平和分贝知识点

#### 1. 电平

电平是表示电功率、电压和电流相对大小的量。

在用电平表示的电量中，取一个标准量，用一个量与标准量相比较再取对数，这就是电平。电平用分贝（dB）表示，电平有正有负。如图 4-18 所示是电平表实物图。

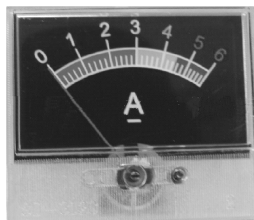


图 4-18 电平表实物图

#### 重要提示

在音响设备中，电平表指示的是音乐的峰值电平。在电平表上，高于 0dB 的电平一律使用红色标记，表示电平超过 0dB 后，录音失真有可能超过 3%。

#### 2. 参考电平

参考电平（0dB，又叫零分贝电平）是一个标准参考量。这个量是在 600Ω 上得到 1mW，对应的标准参考电压是 0.775V（600Ω）和标准参考电流是 1.29mA（600Ω）。

#### 重要提示

大于参考电平的为正电平，小于参考电平的为负电平，正、负电平由此而来。

#### 3. 相对电平

它是以非标准量来参考的电平，它的参考量可任意选定。

#### 4. 绝对电平

它是某电量与标准电压或标准电流为参考量，相比再取对数得到的电平。在音量表（VU 表）上 0dB 就是绝对电平为零的量，所以它指示的是绝对电平。

#### 5. 分贝

分贝是一种计量单位，用来表示声音和电信号的大小。

分贝用 dB 表示。

分贝的定义是：一个放大器的输出功率为  $P_2$ ，输入功率为  $P_1$ ，给  $P_2$ 、 $P_1$  取常用对数，即  $\lg P_2/P_1$ ，此值称为贝尔，10 倍的贝尔等于分贝，即：

$$\text{分贝} = 10 \lg P_2/P_1 = 20 \lg U_2/U_1 = 20 \lg I_2/I_1$$

$U_2$  的放大输出信号电压， $U_1$  放大器输入信号电压。

$I_2$  放大器输出信号电流， $I_1$  为放大器输入信号电流。

仪表中用 dB 指示声学 and 电声学中使用分贝表示信号大小出于下列两种原因：

- 1) 符合人耳对声音的听觉特性，即人耳对声音的强弱变化与声音功率大小的对数值成正比；
- 2) 有利于简化计算。

#### 6. VU 表

标准 VU 表的表盘是浅黄色的，中央印有醒目的 VU 字样，如图 4-19 所示是标准 VU 表实物图。因为音响设备多为双声道，所以 VU 表也会成对出现，左、右声道各一只。在指示信号音量的一致性方面，VU 表比电平更好。

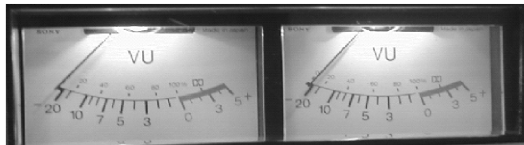


图 4-19 标准 VU 表实物图

#### 重要提示

VU 表又称“音量单位表”，它的动态特性受一套非常严格的国际标准（ANSI）的约束（电表





弹道学), 目的是为了尽量真实地反映人耳的听觉感受, 保证音量而不是峰值电平的一致性。

VU 不是电平, 但在稳定的 1kHz 测试信号下, 0VU 相当于 +4dB 电平, 所以, 有些电平表在 -4dB 处标有 0VU 刻度。VU 和电平之间不存在简单的换算关系。

## 4.3 电阻、半导体和欧姆定律知识点“集中营”

### ★4.3.1 电阻知识点



#### 重要提示

电子电路分析中, 电阻、电压和电流 3 者之间关系的分析是最为基本的内容之一。

#### 1. 电阻定义

电阻是一个物理量, 导体在导电时对电流的流动存在着阻碍作用, 电阻就是用来反映导体对电流阻碍作用大小的物理量。电阻用  $R$  表示。

导体内带电质点在运动过程中不断地相互碰撞, 且还与导体的分子相互碰撞, 因此导体对于它所通过的电流有一定的阻力, 即为电阻。



#### 重要提示

对电阻阻碍的理解可以用物体对水流的阻力来理解, 比较容易接受。

水在流动时存在阻力, 同样电流在电路中流动时也存在阻力, 这个阻力就是电阻。为了提供合适的电阻, 一般采用电阻器。

导体的电阻与众多因素有关, 如与导体的材料有关, 与导体的截面积有关, 与温度有关。均匀截面积线状导体的电阻计算公式如下:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中,  $R$  为导体的电阻 ( $\Omega$ );  $l$  是导体的长度 (m);  $S$  为导体的截面积 ( $\text{mm}^2$ );  $\rho$  为导体的电阻率 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ), 电阻率  $\rho$  是长 1m、截面积为  $1 \text{ mm}^2$  的导体的电阻值。

#### 2. 电阻单位

电阻的单位是欧姆, 用  $\Omega$  表示。除欧姆外还有千欧 (用  $\text{k}\Omega$  表示)、兆欧 ( $\text{M}\Omega$ ), 它们之间的换算如下:

$$1 \text{ k}\Omega = 1000 \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 1000 \text{ k}\Omega$$

#### 3. 电导

电导是衡量导体传导电流能力的物理量, 在数值上它等于电阻的倒数, 电导用  $G$  表示。导体的电阻越小, 电导越大, 反之则小。如下所示是电导  $G$  与电阻  $R$  之间关系式

$$G = \frac{1}{R}$$

#### 4. 电抗 ( $X$ )

它是指交流电路中由电感和电容引起的阻抗部分, 包括感抗  $X_L$  和容抗  $X_C$ , 符号为  $X$ , 单位为欧姆。

#### 5. 阻抗 ( $Z$ )

它是一个复合参数, 实部为电阻, 虚部为电抗, 所以它与电阻、容抗和感抗三者有关, 单位为欧姆。

#### 6. 导纳 ( $Y$ )

它是阻抗的倒数, 也是一个复合参数, 实部为电导, 虚部为导纳, 符号为  $Y$ , 单位为西门子。



重要提示

导纳通常表示的是器件并联的情况，而阻抗表示的是器件的串联情况。

7. 电纳 ( $B$ )

它是导纳的虚数部分，包括容纳  $B_C$  和感纳  $B_L$ ，符号为  $B$ ，单位为西门子。

8. 导体

通俗地讲，能够导电的物体称为导体，例如电灯用的导线等。导体的电阻率很小，不同材料的导体其电阻率也有所不同，即它的导电能力不同，超导体的电阻率非常小。

9. 绝缘体

绝缘体是不能导电的物体，例如玻璃，还有干燥的木头等。绝缘体的电阻率非常大，它与导体恰好相反。

★4.3.2 半导体知识点

1. 半导体及导电能力

半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间，在电子电路中大量使用了半导体材料，例如硅就是一种半导体材料。电子电路中处处可见的二极管、晶体管、集成电路等有源器件都是使用这种半导体材料制造的。



重要提示

用半导体材料制成的电子元器件，在特定的工作条件它可以工作在导通和截止两种状态下，这就是神奇的半导体元器件。

2. 本征半导体

没有掺杂且无晶格缺陷的纯净半导体称为本征半导体 (intrinsic semiconductor)。通俗地讲，完全纯净的半导体称为本征半导体或 I 型半导体，如图 4-20 所示是本征半导体结构示意图。

3. 空穴和电子

半导体结构中，价电子（原子的最外层电子）不像在绝缘体（8 价元素）中那样被束缚得很紧，在获得一定能量（温度增高、受光照等）后，即可摆脱原子核的束缚（电子受到激发），成为自由电子。同时在共价键中留下的空位称为空穴，如图 4-21 所示是空穴和自由电子示意图。

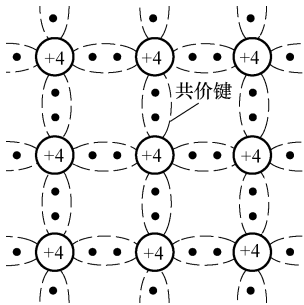


图 4-20 本征半导体结构示意图

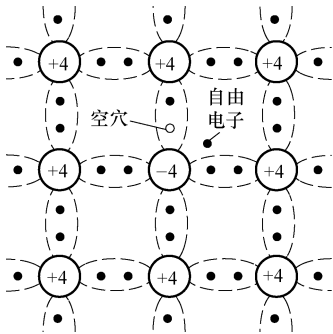


图 4-21 空穴和自由电子示意图

4. 半导体中的两种电流

本征半导体中的自由电子和空穴在外电场的作用下，半导体中将出现两部分电流。一是自由电子作定向运动形成的电子电流，二是仍被原子核束缚的价电子（不是自由电子）填补空穴形成的空穴电流。

**重要提示**

在半导体中存在自由电子和空穴两种载流子，这是半导体和金属在导电原理上的本质区别。

**5. 半导体温度特性**

本征半导体中的自由电子和空穴总是成对出现，同时又不不断复合，在一定温度下达到动态平衡，载流子便维持一定数目。温度越高，载流子数目越多，导电性能也就越好。所以，温度对半导体器件性能的影响很大。

**6. P 型半导体**

在本征半导体中掺入三价杂质元素，如硼、镓、铟等形成了 P 型半导体，它也称为空穴型半导体。如图 4-22 所示是 P 型半导体结构示意图。

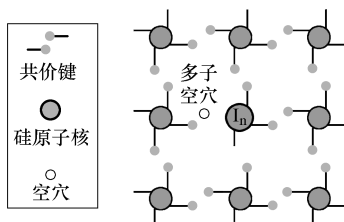


图 4-22 P 型半导体结构示意图

**重要提示**

因为三价杂质原子在与硅原子形成共价键时，缺少一个价电子而在共价键中留下一空穴。P 型半导体中空穴是多数载流子，主要由掺杂形成。电子是少数载流子，由热激发形成。

**7. N 型半导体**

在本征半导体中掺入五价杂质元素，例如磷，可形成 N 型半导体，也称电子型半导体。如图 4-23 所示是 N 型半导体结构示意图。

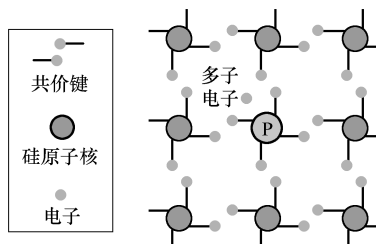


图 4-23 N 型半导体结构示意图

**重要提示**

因为五价杂质原子中只有四个价电子能与周围四个半导体原子中的价电子形成共价键，而多余的一个价电子因无共价键束缚而很容易形成自由电子。在 N 型半导体中自由电子是多数载流子，它主要由杂质原子提供。空穴是少数载流子，由热激发而形成。

**8. PN 结**

在一块本征半导体的两侧通过扩散不同的杂质，分别形成 N 型半导体和 P 型半导体。此时将在 N 型半导体和 P 型半导体的结合面上形成一系列物理过程。最后，多子的扩散和少子的漂移达到动态平衡。

在 P 型半导体和 N 型半导体的结合面两侧，留下离子薄层，这个离子薄层形成的正负空间电荷区就是 PN 结，又叫耗尽层。如图 4-24 所示是 PN 结的结构示意图。PN 结的内电场方向由 N 区指向 P 区。

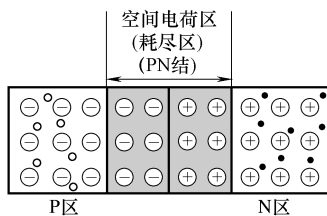


图 4-24 PN 结的结构示意图

**★4.3.3 欧姆定律知识点****1. 部分电路欧姆定律**

所谓部分电路就是指不含电源的电路。这种电路欧姆定律可以用如图 4-25 所示电路来说明。电路图中， $R$  为电阻， $U$  是

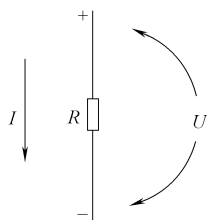


图 4-25 示意图

电阻两端的电压,  $I$  是流过电阻的电流。

电路分析中关心最多的是信号电压或电流, 分析信号的电压或电流大小, 电路分析中往往通过电阻判断信号电流或电压的大小。

1) 公式。电阻、电压、电流三者之间的关系公式为

$$U = IR$$

式中,  $U$  为电压;  $I$  为电流;  $R$  为电阻。

在理解电路工作原理过程中, 使用最多的概念是电阻的大小。

2) 公式记忆方法。上述公式说明了电压、电阻、电流三者之间的关系, 记忆这一公式有一种好方法, 如图 4-26 所示, 将  $U$ 、 $I$  和  $R$  分布成三角形, 求其中一个量时用手指按住它, 如按住  $U$ , 得到  $IR$ 。

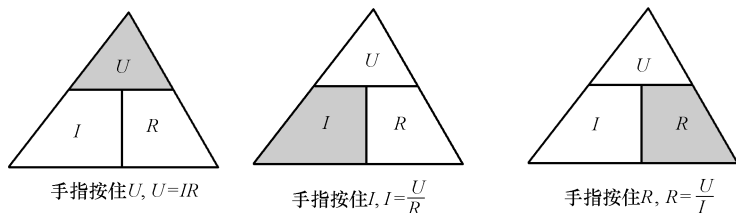


图 4-26 记忆方法示意图

3) 已知两个量求第三个量。电路分析中常用已知两个量的情况来分析第三个量。

当电压  $U$  已知时, 知道电流  $I$  可以计算出电阻  $R$ , 知道电阻  $R$  大小时可以计算出电流  $I$  的大小。

当电阻  $R$  已知时, 知道电流  $I$  可以计算出电阻两端的电压  $U$ , 同样知道电阻两端电压  $U$  时可以计算出流过电阻的电流  $I$ 。

当电流  $I$  已知时, 知道电压  $U$  可以计算出电阻  $R$  大小, 同样知道电阻  $R$  时可以计算出电阻两端的电压  $U$ 。

4) 举例说明。分析两个电阻器并联电路, 需要分析流过两个电阻器的电流谁大谁小, 这时就得运用上述公式进行分析。由于两个电阻器并联, 所以加到两电阻器上电压相等。由  $U = IR$  公式可知, 电阻  $R$  大的那个电阻器中电流  $I$  小。

5) 线性电路特性曲线。在  $U = RI$  公式中, 当  $R$  不变 (常数) 时, 改变  $I$  则相应的  $U$  也变化, 画出  $U$  随  $I$  变化的曲线, 如图 4-27 所示。它是用来表示电压随电流变化特性的曲线, 从图中可以看出这是一条直线。

当电阻  $R$  大小不同时, 其直线的斜率不同。电阻值不变的电阻称为线性电阻, 由线性电阻 (当然还有其他线性元件) 构成的电路称为线性电路。

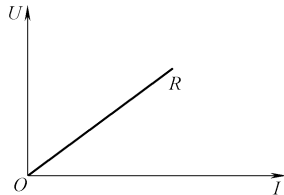


图 4-27 电压随电流变化特性的曲线

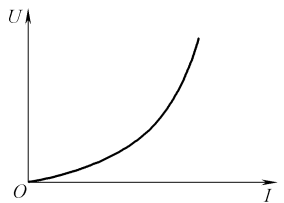


图 4-28 非线性电路的电压随电流变化特性曲线

6) 非线性电路特性曲线。如图 4-28 所示是一个非线性电路的电压随电流变化特性曲线。从图中可以看出, 这不是一条直线, 而是一条曲线, 在不同的电压、电流下, 有不同的电阻, 即电阻值是随电流、电压变化而变化的, 这样的电路称为非线性电路。



#### 重要提示

当晶体管工作在放大状态时是线性的, 当它工作在截止状态、饱和状态时是非线性的。

## 2. 全电路欧姆定律

所谓全电路就是含电源的电路。



如图 4-29 所示是一个全电路。电路中,  $R$  是电阻, 虚线框内为电源,  $R_0$  是电源内阻,  $E$  为电源的电动势,  $U_0$  为内阻  $R_0$  上的压降,  $U$  为电阻  $R$  两端的电压,  $I$  为流过电阻的电流。

全电路欧姆定律公式:

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

全电路中的电流与电动势成正比, 与内阻、外电阻之和成反比。

$E = U_0 + U$ , 或是  $U = E - U_0$ , 这说明电源端电压是电动势与内阻上压降之差, 当电源内阻很小而可以忽略不计时, 电源的端电压等于电源的电动势。

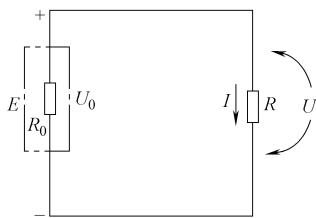


图 4-29 示意图

## 4.4 信号波形知识点“集中营”



### 重要提示

信号种类很多, 不同电路中处理和放大的信号是不同的, 在同一个电路中也会出现多种信号并存的现象。

利用信号波形来理解电路工作原理是一个好方法, 它直观, 容易记住。使用示波器检修电路故障过程中, 需要了解信号的波形。

### ★4.4.1 常见信号波形知识点

#### 1. 正弦信号波形

如图 4-30 所示是正弦信号波形。

#### 2. 正弦波负半周削波波形

如图 4-31 所示是正弦波负半周削波波形。

#### 3. 正弦波负半周被干扰的波形

如图 4-32 所示是正弦波负半周被干扰的波形。

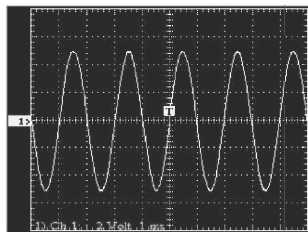


图 4-30 正弦信号波形

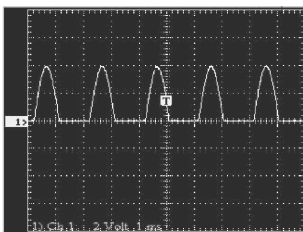


图 4-31 正弦波负半周削波波形

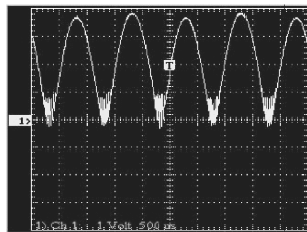


图 4-32 正弦波负半周被干扰的波形

#### 4. 三角波形

如图 4-33 所示是三角波形。

#### 5. 三角波正半周波形

如图 4-34 所示是三角波正半周波形。

#### 6. 矩形波形

如图 4-35 所示是矩形波形。

#### 7. 梯形波形

如图 4-36 所示是梯形波形。



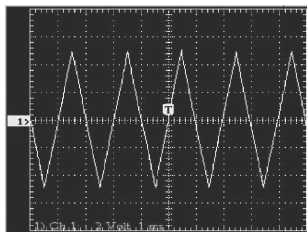


图 4-33 三角波形

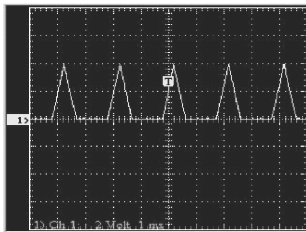


图 4-34 三角波正半周波形

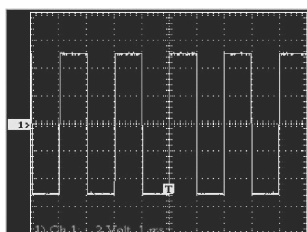


图 4-35 矩形波形

## ★4.4.2 视频信号波形知识点

### 1. 黑白电视图像信号波形

如图 4-37 所示是黑白图像信号波形示意图。图像信号是反映画面内容的电信号，又称视频信号。白、灰、黑垂直条，分别对应白电平、灰电平和黑电平，这是负极性的图像信号（波形）。所谓负极性图像信号是信号电平越大像素越暗，正极性的图像信号则是信号电平越大像素越亮。

$t_0$  与  $t_1$  之间画面均为白色，亮度一样，所以图像信号的电平为最小且大小不变； $t_1$  与  $t_2$  之间画面均为灰色，电平较大； $t_2$  与  $t_3$  之间画面为黑色，所以信号为最大。



#### 重要提示

图像信号的频率高低表达了图像的复杂程度，低频信号代表了大面积的图像，高频信号则表示了图像的细节，直流成分则表达了图像的背景亮度。

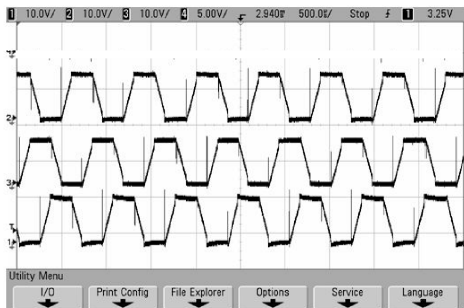
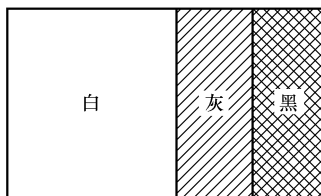


图 4-36 梯形波形



a) 白、灰、黑图像



b) 负极性图像信号波形

图 4-37 黑白图像信号波形示意图

### 2. 行同步信号波形

如图 4-38 所示是行同步信号波形示意图。行同步信号是电视机同步信号中的一种同步信号，它的作用是控制行振荡器的振荡频率和相位。每行有一个行同步信号（设在行逆程期间）。

行同步信号是一个矩形脉冲，负极性图像信号中行同步信号的电平为最大，比黑电平还要大。

行同步信号又称行同步头，行同步头电平最高是为了能够方便地从全电视信号中取出行同步信号，电视机中是

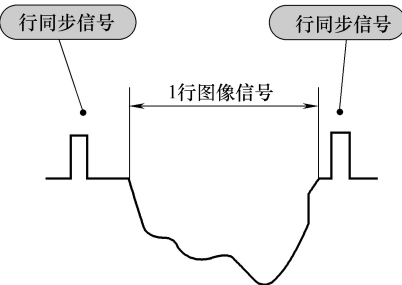


图 4-38 行同步信号波形示意图



通过幅度分离的方法切割出同步头的。



#### 重要提示

行同步脉冲信号的宽度为  $4.7\mu\text{s}$ 。由于行同步信号设在逆程期间，所以在屏幕上不会反映出行同步信号的情况。

### 3. 场同步信号波形

如图 4-39 所示是场同步信号波形示意图。场同步信号又称场同步头，它也出现在场逆程期间，屏幕上也不会反映出场同步信号的情况。场同步信号的作用是控制电视机中场振荡器的振荡频率和相位，使电视机中的场扫描与摄像机中电子束的场扫描同步。场同步信号也是一个矩形脉冲。

### 4. 复合同步信号波形

如图 4-40 所示是复合同步信号波形示意图。电视机中的复合同步信号通常是指行同步信号和场同步信号复合而成的信号，而实际上是行同步信号、场同步信号开了 5 个槽和场同步信号前后各 5 个（共 10 个）均衡脉冲的复合而成的信号，如图 4-40 所示是偶数场和奇数场的复合同步信号的实际波形示意图。



#### 重要提示

复合同步信号是全电视信号中的一部分，它从全电视信号中分离出来，这一工作由同步分离级完成。

复合同步信号是保证电视机扫描系统正常扫描的唯一控制信号，若这一信号不正常，电视机的扫描系统将不正常，图像也就不正常，正常地重现图像是靠电视机正常的扫描来保证的，就好比晶体管放大器中，没有正常的静态工作状态就没有正常的动态工作状态，静态好比扫描，动态好比图像。

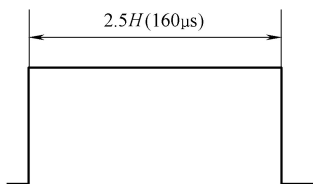


图 4-39 场同步信号波形示意图

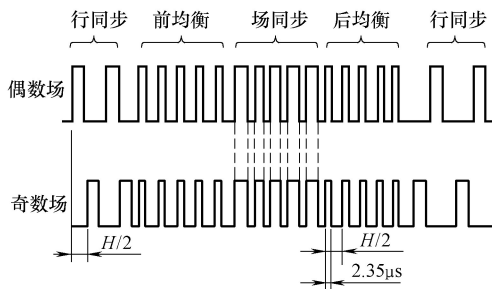


图 4-40 复合同步信号的实际波形示意图

### 5. 行消隐信号波形

如图 4-41 所示是行消隐信号波形示意图。行消隐信号是复合消隐信号中一种信号，作用是消除行逆程期间的行回扫线。行扫描中，电子束从屏幕左侧向右侧扫描（这是正程），扫到右端后电子束要返回到左侧来，电子束的这一返回过程称为行逆程。逆程期间不传送图像，而电子束回扫到在屏幕上要出现一条细的亮线，此亮线称为行回扫线。这一回扫线是没用的，而且还干扰图像的正常重现，所以要去掉这一回线，这由行消隐信号来完成。

### 6. 场消隐信号波形

如图 4-42 所示是场消隐信号波形示意图。场消隐信号是复合消隐信号中的另一个消隐信号，其作用是消除场逆程期间的场逆程回扫线，消除这一逆程回扫线的原理同行消隐信号一样。

每一场有一个场消隐信号，场消隐电平等于黑电平。

### 7. 复合消隐信号波形

如图 4-43 所示是复合消隐信号波形示意图。复合消隐信号是行消隐信号和场消隐信号复合而成的信号。复合消隐信号同图像信号一起送到显像管阴极（通常是阴极），以控制电子束的工作状态。

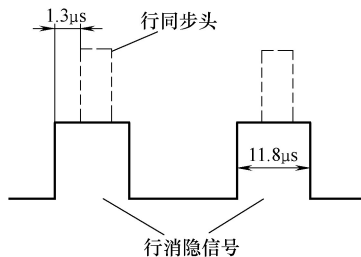


图 4-41 行消隐信号波形示意图

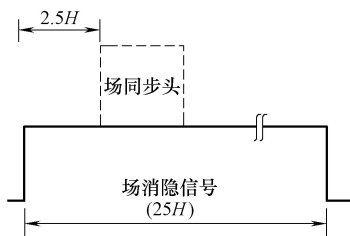


图 4-42 场消隐信号波形示意图

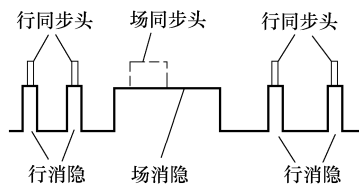


图 4-43 复合消隐信号波形示意图

## 8. 全电视信号波形

如图 4-44 所示是全电视信号波形示意图。全电视信号由 3 部分信号组成：图像信号、复合同步信号和复合消隐信号。

### 重要提示

全电视信号在电视机中是从检波级输出，这一信号按时间轴来讲各信号是串联、顺序变化的。  
全电视信号中的 3 部分信号其电平大小是不同的，从图中可以看出，同步头电平为 100%，消隐电平（黑电平）为 75%，白电平为 12.5%。

## 9. 高频全电视信号波形

如图 4-45 所示是高频全电视信号波形示意图。电视信号由全电视信号和伴音信号组成，用全电视信号去调制高频载波的幅度得到了高频全电视信号（这是调幅波信号），用伴音信号去调制高频载波的频率得到了高频伴音信号（调频波信号），这两个高频信号合起来称为高频全电视信号。

## 10. 频谱特性

如图 4-46 所示是负极性调幅的频谱示意图。从频谱示意图中可以看出， $f_0$  是载波频率，在它的左侧为下边带，频宽为 6MHz；在它的右侧为上边带，其频宽也为 6MHz。这样，总的频带宽度为 12MHz，比全电视信号的频带宽了一倍。

在频谱图中，靠近载波频率两侧的信号是全电视信号中的低频成分，远离载波频率的信号是全电视信号的高频成分。上边带、下边带信号所包含的全电视信号内容是完全一样的，所以理论上讲只要传送一个边带信号就可以了，但实际上很难将一个边带的信号全部滤除。

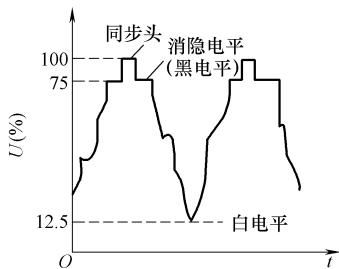


图 4-44 全电视信号波形示意图

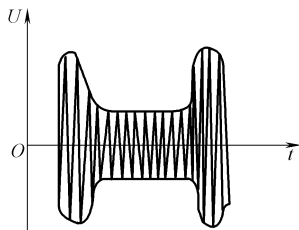


图 4-45 高频全电视信号波形示意图

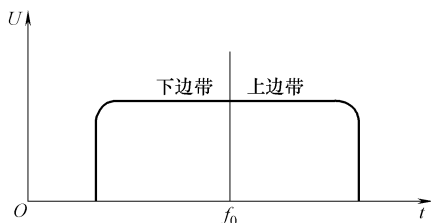


图 4-46 负极性调幅的频谱示意图

### 重要提示

在电视机中，采用残留边带发送方式，即发送上边带的全部和下边带的一部分（低频部分，由于它很难滤除），如图 4-47 所示。图中，阴影部分是被滤除的。图中也包括了高频伴音信号，它的载波频率  $f_{02}$  比高频全电视信号的载波频率  $f_{01}$  高 6.5MHz。采用残留边带发送方式是为了节省电视频道的带宽。



我国电视标准规定,每个频道占 8MHz,其中残留边带占 0.75MHz,另有 0.5MHz 的逐渐衰减过程,上边带为 6MHz。

### 11. 色同步信号波形

彩色电视机是从黑白电视机基础上发展起来的,它向下兼容黑白电视信号,所以彩色电视机中许多电路和信号与黑白电视机相同或相近。

如图 4-48 所示是色同步信号波形示意图。色同步信号是彩色电视机中所特有的信号,它是用来保证彩色电视机色度通道中副载波振荡器同步的信号。

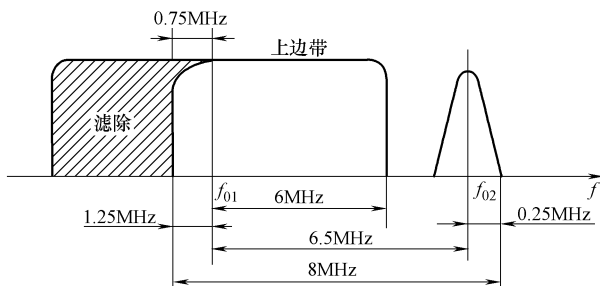


图 4-47 示意图

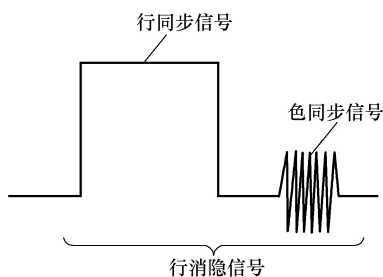


图 4-48 色同步信号波形示意图



#### 重要提示

色同步信号是一串 8~12 个周期的正弦波,其频率和相位与发送端的副载波频率和相位相同。色同步信号位于行消隐信号的后肩处,每行传送一个色同步信号。

### 12. 彩色全电视信号波形

如图 4-49 所示是彩色全电视信号波形示意图。彩色全电视信号用 F、B、Y、S 表示,它们分别是色度信号、色同步信号、亮度信号、复合同步与消隐信号。

色度信号 F 的作用是还原彩色图像的彩色部分信息,彩色电视机中有色度通道来放大和处理 F 信号。

B 是色同步信号。

亮度信号 Y 是表示彩色图像亮度信息的信号,它相当于黑白全电视信号中的图像(视频)信号,彩色电视机中有亮度通道,用来放大和处理 Y 信号。

复合同步与消隐信号 S 与黑白电视机中一样,用来保证行、场扫描的同步和扫描逆程的消隐。

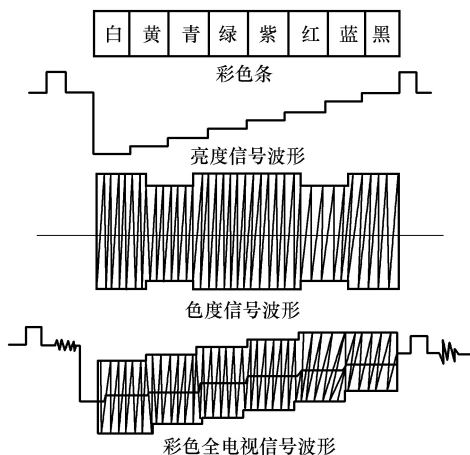


图 4-49 彩色全电视信号波形示意图

## ★4.4.3 收音电路信号波形知识点

### 1. 调幅信号波形

调幅和调频是两个很重要的概念,对理解收音电路、电视机电路的工作原理很有帮助。

收音机、调谐器中的中波、短波电路都是处理的调幅信号。在分析收音电路中的检波器电路时,要运用调幅及调幅信号波形特点的概念。

如图 4-50 所示是调幅信号波形。

1) 载波信号。载波是一个高频的等幅正弦波信号,各中波广播电台的载波频率是固定的且不相同。

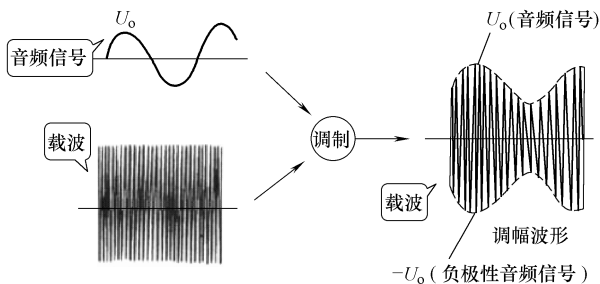


图 4-50 调幅信号波形

载波的频率很高，人耳听不到，它的作用是将音频信号传送到很远的地方，所以载波相当于火箭，音频信号相当于卫星，载波用来载着音频信号进行传送。

2) 高频信号或射频信号。两个信号（所要传送的音频信号和载波信号）在广播电台发射机的调制器中进行调制（调幅），得到了在天空中传播的高频调幅信号，简称高频信号，又称射频信号。

### 重要提示

经过调制后的高频信号其载波频率没有改变，但是这一高频信号的幅度改变了，高频信号的幅度变化规律就是所要传送的音频信号。

高频信号的包络变化（幅度变化）是按音频信号变化规律而变化的，它的正半周包络为  $U_o$ ，负半周包络为  $-U_o$ ，其中的“-”号表示这一信号与  $U_o$  信号相位相反， $U_o$  和  $-U_o$  对称，但是不相交。

对于高频信号的包络理解要注意，包络是由载波信号的正峰点、负峰点的一个个点构成的，它是不连续的，正确了解这一点对理解检波器电路的工作原理相当重要。

3) 调幅波段。中波和短波各波段都是调幅波段，载波信号的特性相同，只是频率不同，中波段载波的频率范围为 525 ~ 1605kHz，短波 1 波段载波的频率范围为 2.52 ~ 5.5MHz，短波 2 波段载波的频率范围为 5.5 ~ 12MHz。

### 2. 调频信号波形

所谓调频，就是用一个频率低的信号去改变另一个频率更高信号的频率特性，即频率的变化特性。了解调频及调频信号波形的有关特点，对理解调频收音电路中鉴频器电路工作原理十分重要。

如图 4-51 所示是调频信号波形示意图。调频信号中的音频信号是所要传送的信号，载波信号也是一个高频等幅信号，只是载波频率更高，在没有调制前这两个信号与调幅信号中的音频信号和载波信号特性相同。

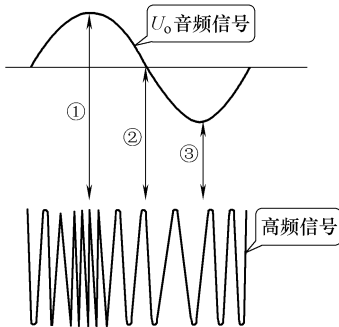


图 4-51 调频信号波形示意图

### 重要提示

调制后的调频信号，其信号的幅度保持不变，但载波信号的频率发生了变化，其频率改变规律与所要传送的音频信号的幅度变化规律相关，即调频信号的频率变化规律就是所要传送的音频信号的变化规律，这与调幅信号的幅度变化代表音频信号不同。

图 4-51 中 1 时刻音频信号  $U_o$  的幅值最大，调频高频信号的频率最高（波形最密集），此时的频率高于载波信号的频率；图中 2 时刻音频信号为零，此时高频调频信号的频率等于载波信号频率；图中 3 时刻音频信号的幅度最小，所对应的调频高频信号频率最低，且低于载波信号的频率。





调频收音电路其频率范围为 88 ~ 108 MHz。

### 3. 平衡调幅信号波形

如图 4-52 所示是平衡调幅信号波形示意图。普通调幅（不平衡调幅）的上包络  $P$  和下包络  $-P$  是不相交的，上、下包络之间是载波。

平衡调幅的上包络  $P$  和下包络  $-P$  是相交的，上、下包络之间也是载波，但特性有所不同（在交点处载波相位反相），使得载波在一个周期内的平均值为零。

这样，在接收机端不能直接从平衡调幅信号中取出载波信号，这一点与不平衡调幅不同。

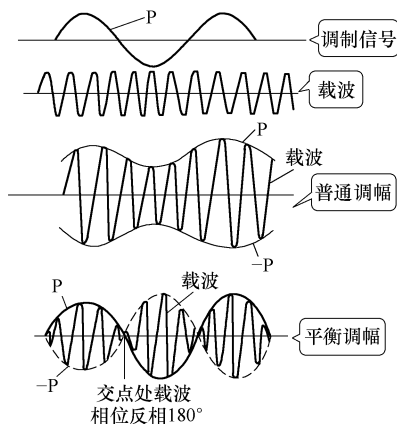


图 4-52 平衡调幅信号波形示意图



#### 重要提示

在调频立体声收音电路也要加入一个导频信号。彩色电视机中为此要专门加入一个色同步信号，以恢复标准的副载波。

### 4. 正交平衡调幅

平衡调幅中，要将两个信号  $A$  和  $B$  一起调制到一个频率较高的载波上（这个载波称为副载波），如果将这两个信号简单地合并，会导致无法再将它们分开的问题，为此采用正交平衡调幅的方法来解决。

所谓正交平衡调幅就是：用两个频率相同但相位相差  $90^\circ$  的副载波分别去传送  $A$  和  $B$  两个信号，具体地讲就是用  $A$  信号调制在相位为  $\sin \omega_s t$  的副载波上，得到  $A \sin \omega_s t$  信号；用  $B$  信号调制在相位为  $\sin (\omega_s t + 90^\circ) = \cos \omega_s t$  的副载波上，得到  $B \cos \omega_s t$  信号，这样就得到两个相位差为  $90^\circ$  的平衡调幅信号。

### 5. 立体声复合信号波形

如图 4-53 所示是立体声复合信号波形示意图。

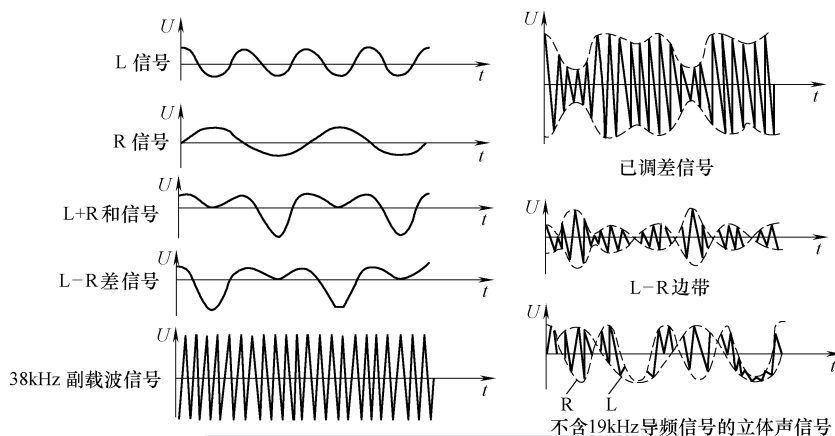


图 4-53 立体声复合信号波形示意图

没有 19 kHz 导频信号时立体声复合信号的波形具有下列特点：

1) 左声道音频信号  $L$  和右声道音频信号  $R$  是这一信号包络， $L$  信号与  $R$  信号的中间是 38 MHz 副载波。

2) L 信号和 R 信号存在交点, 38MHz 副载波在每过一个交点后相位反相  $180^\circ$ 。

3) 副载波的正半周峰点始终对准 L 信号, 副载波的负半周峰点始终对准 R 信号, 在第一个交点处, L 信号变化到负半周, 同时副载波反相, 所以仍然是副载波的正峰点对准 L 信号, 副载波的负峰点对准 R 信号。了解这一点对立体声解码器电路分析最重要。对副载波正峰点进行取样, 便能获得左声道信号 L, 若对副载波的负峰点取样, 便能得到右声道信号 R。

## 4.5 电子电路信号知识点“集中营”

### 重要提示

讲起信号感觉比较熟悉但是又那么含糊不清。从信号本身的属性来讲信号有电信号、磁信号、光信号和声信号等, 在电子电器中更多的是电信号。

电子电路中的信号就是一切有用的、需要进行放大或处理的电流或电压。

### ★4.5.1 模拟信号和数字信号知识点

电信号中, 从信号大小变化与时间轴之间的关系分有两大类信号: 模拟信号和数字信号。

模拟信号是指信号的电压和电流大小随时间连续变化的信号。通俗地讲模拟信号就是大小连续变化的信号, 如图 4-54 所示, 这种信号一般情况下不会出现信号电压或电流突然消失、突然增大的情况 (但不是绝对没有)。各种常见电子电器中的信号都是模拟信号。

#### 1. 数字信号

数字信号是一个离散量, 具体地讲数字信号的电压或电流在时间和数值上都是离散的, 不连续的, 如图 4-55 所示是数字信号示意图。

数字信号的幅值变化只有两种: 幅值为零, 或很小, 用“0”表示; 幅值为高电平, 或大, 用“1”表示。

### 重要提示

数字信号的幅值要么是有 (大), 要么是无 (小), 在有与无之间没有过渡, 这就是数字信号幅值的不连续特性, 也是数字信号的一个重要特点。

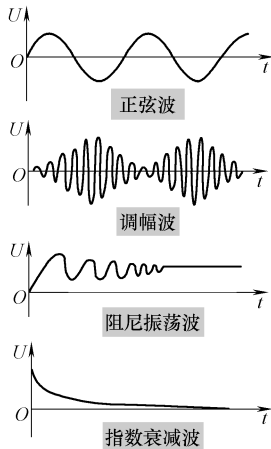


图 4-54 模拟信号示意图

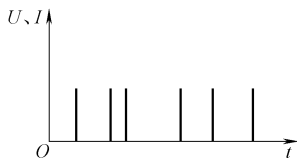


图 4-55 数字信号示意图

#### 2. 模拟电路

处理模拟信号的电路叫模拟电路 (Analog Circuit)。

### 重要提示

模拟信号的特点是: 函数的取值为无限多个; 当图像信息和声音信息改变时, 信号的波形也改变, 即模拟信号待传播的信息包含在它的波形之中 (信息变化规律直接反映在模拟信号的幅度、频率和相位的变化上)。

#### 3. 数字电路

用数字信号完成对数字量的算术运算和逻辑运算的电路称为数字电路 (Digital circuit), 或数



字系统。由于它具有逻辑运算和逻辑处理功能，所以又称数字逻辑电路。



#### 重要提示

数字电路具有 3 大特点：一是同时具有算术运算和逻辑运算功能；二是实现简单，系统可靠；三是集成度高，功能实现容易。

集成度高、体积小、功耗低是数字电路突出的优点之一。

### ★4.5.2 电压信号、电流信号和功率信号知识点



#### 重要提示

因为电路处理的信号目的有所不同，在电路中有电压信号、电流信号和功率信号。

#### 1. 电压信号

所谓电压信号是一种以电压形式出现的信号源，它能够输出较大的信号电压，而不能输出较大的信号电流或功率。

例如，电压放大器输出的信号电压比较大。

#### 2. 电流信号

所谓电流信号是一种以电流形式出现的信号源，它能够输出较大的信号电流，但是信号的电压幅度不一定大。

例如，电流放大器输出的信号电流比较大。

#### 3. 功率信号

所谓功率信号是一种以功率形式出现的信号源，它能够在输出较大的信号电压同时，还能够输出较大的信号电流，所以信号的功率比较大。

例如，功率放大器输出的信号功率比较大。

### ★4.5.3 其他信号知识点

#### 1. 高频信号

在电路中，频率相对较高的信号称为高频信号。例如，收音机中磁棒天线接收的是高频信号。



#### 重要提示

信号频率高低是相对的，在不同电路系统中的高频、中频和低频信号的频率是不同的。

#### 2. 中频信号

在电路中，频率相对处于中间频段的信号称为中频信号。例如，收音机中变频电路之后的是中频信号。

#### 3. 低频信号

在电路中，频率相对处于低频段的信号称为低频信号。例如，收音机中检波电路之后的是低频信号。

#### 4. 反馈信号

如图 4-56 所示是反馈信号示意图，它是从放大器输出端通过反馈电路加到放大器输入端的信号。



#### 重要提示

如果反馈信号  $U_F$  与输入信号  $U_i$  信号相位相同，那么又称为是正反馈信号，如果反馈信号与输入信号  $U_i$  信号相位相反，那么称为是负反馈信号。

## 5. 取样信号

在自动控制等电路中，需要将电路中某些信息检测出来，这由取样电路来完成。从取样电路输出的信号称为取样信号，如图 4-57 所示是串联调整管稳压电路中的取样信号示意图。

## 6. 基准信号

当需要对两个信号的幅度大小进行比较时，就需要比较电路。参与比较的两个信号其中一个基准信号，它大小不受外界等因素影响。

例如，如图 4-58 所示是串联调整管稳压电路中的基准电压（信号）示意图，它是基准电压电路的输出电压。

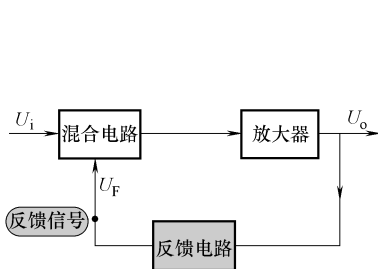


图 4-56 反馈信号示意图

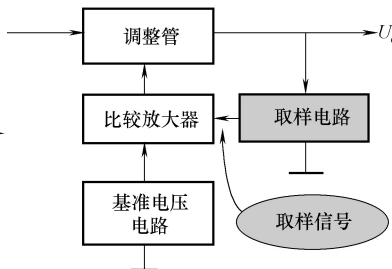


图 4-57 串联调整管稳压电路中的取样信号示意图

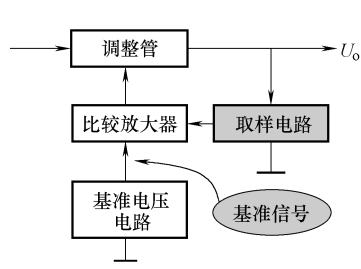


图 4-58 串联调整管稳压电路中的基准电压（信号）示意图

## 7. 射频信号

为了能让所需要的频率较低的信号发射得更远，需要采用调制方式，用一个频率更高的信号“载”着低频信号，这载着低频率信号、频率很高的信号称为射频信号。

## 8. 振荡信号

由振荡产生的信号称为振荡信号，例如由正弦振荡器产生的信号称为正弦振荡信号。

## 9. 音频信号

人耳能够听到的频率范围内信号称为音频信号，通常音频信号的频率范围为 0.02 ~ 20kHz。

### 重要提示

在电子电路中，音频电路是一种重要的领域，如音响电路就是放大和处理音频信号的电路。比音频信号频率稍高一些的是超音频信号。

## 10. 视频信号

视频信号又称图像信号，它是反映画面内容的电信号。视频信号的频率范围是 0 ~ 6MHz，如图 4-59 所示是视频信号示意图。

## 11. 差模信号

所谓差模信号就是两个大小相等、方向相反的信号，如图 4-60 所示。

## 12. 共模信号

所谓共模信号就是两个大小相等、方向相同的信号，如图 4-61 所示是共模信号。

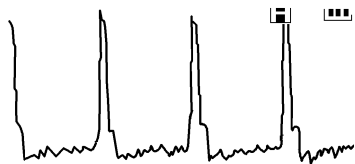


图 4-59 视频信号示意图

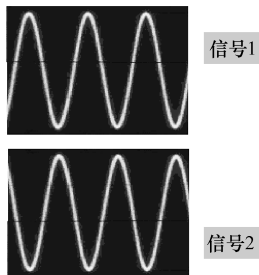


图 4-60 差模信号

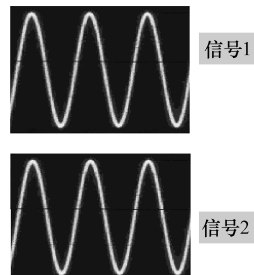


图 4-61 共模信号



## 4.6 视觉特性和扫描知识点“集中营”



### 重要提示

电视机、激光视盘机等，它们播放彩色图像，供人们观看，是为人们“服务”的设备。所以在多种设备的电路中有许多针对人的视觉特性进行补偿的电路。不了解人的视觉特性就无法深层次理解这些补偿电路的工作原理，因为许多视频电路是根据人的视觉特性进行设计的。

### ★4.6.1 视觉特性知识点

#### 1. 可见光

光是电磁波。

电磁波中，可见光的范围很小，其波长极短，约为  $380 \sim 780\text{nm}$ 。只有这一范围内的电磁波才能引起人眼视觉的反应，所以称为可见光。



### 重要提示

可见光的波长范围只占电磁波很小的部分，按波长的长短分，电磁波中波长最长的是无线电波，依次是红外线、可见光、紫外线、X射线和宇宙射线，如图4-62所示。

电磁波中，其辐射波的能量主要集中在可见光范围内。

#### 2. 彩色

彩色是可见光作用于人眼而引起的一种视觉反应，即感觉和意识。光的颜色与可见光的波长有关，当可见光的波长从长到短变化时，色从红、橙、黄、绿、青、蓝、紫变化。

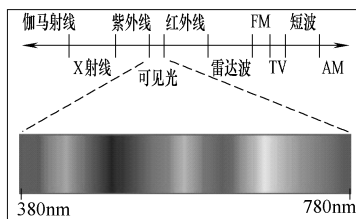


图4-62 示意图



### 重要提示

白色不是单色，它是多种彩色光按一定比例的混合色。

#### 3. 非彩色

非彩色是指黑色、深浅不同的灰色和白色，即黑白系列。

非彩色和彩色的总称为颜色。

#### 4. 彩色三要素

这是彩色的三个基本参量，亮度、色调、色饱和度构成彩色的三要素。其中色调、色饱和度组成色度，在彩色电视机中的色度信号就是用来传送色调、色饱和度信息的。传送亮度信息的信号称为Y信号。

(1) 亮度。它表示某彩色引起视觉明暗的变化，它与两个因素有关：一是彩色光本身的强弱，光越强亮度越高，反之则相反；二是与物体表面的反射特性有关，反射率越高越亮，反之则相反。

(2) 色调。它是指颜色的类别，它与彩色光的波长（频率）有关，可见光中波长最长的是红色，波长最短的是紫色。

(3) 色饱和度。它用来表示某单色光中含白色光的多少，即表示某颜色光的深浅。纯红色的色饱和度为100%，所含白色光越多，其色饱和度越小，白色光的色饱和度为零。

#### 5. 物体的颜色

物体的颜色由两个因素决定：一是光源的特性；二是物体表面对光的吸收、反射和透射的特性。



在白色光源的照射下,对光完全反射的物体呈白色,对光完全吸收的物体呈黑色。自然界没有纯白或纯黑的物体。



#### 重要提示

在白色光源的照射下,当某一物体表面能够反射红色光而吸收其他彩色时,该物体呈红色。同样绿色物体只能够反射绿色。不同色彩的光源照射同一个物体时,物体的颜色不同,如阳光(白色光源)下的红布如果在绿色光源照射下则呈黑色。

### 6. 亮度视觉

人的视觉对不同波长光的感受灵敏度是不同的,并且在不同亮度下对不同波长光的敏感程度也不相同。如图 4-63 所示是视觉视敏特性曲线,曲线中一条为暗视觉特性曲线,另一条为亮视觉特性曲线。

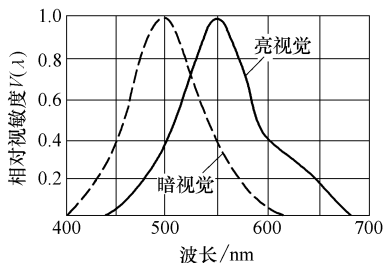


图 4-63 视觉视敏特性曲线

### 7. 视觉范围

人眼的视觉范围是很宽的,但是不能在同时感受很宽的亮度范围。当人适应了某一环境亮度之后,所能够分辨亮度差别的范围就很小了。在很暗时,能够分辨上、下限亮度之比为 10:1,在一般亮度下这一比值为 1000:1。

### 8. 视觉分辨力

视觉分辨力又称视觉锐度。视觉分辨力与照明强度有关,随着照明强度的增加,视觉分辨力增加,但当照明强度大到一定程度后,视觉分辨力不再增加。物体运动的速度对视觉分辨力也是有影响的,物体运动的速度越快,视觉分辨力越低。



#### 重要提示

人眼对彩色细节的分辨力远低于对亮度细节的分辨力,对不同色调的细节其分辨力也是不同的。

彩色电视中,根据人眼对彩色细节分辨力低于亮度分辨力的特点,不传送彩色图像的细节部分,而用黑白图像的细节来代替,以节省传输频带。

### 9. 视觉惰性

如图 4-64a 所示是光脉冲曲线,图 4-64b 所示是人眼相应的主观亮度感觉曲线。当光源突然出现时,人眼的视觉感觉以近似指数的特性上升,在光源消失后也以近似指数的特性下降。

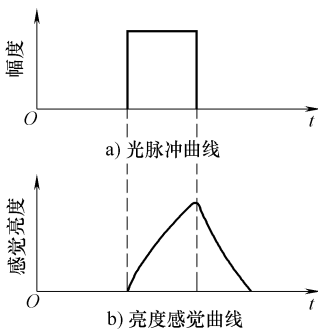


图 4-64 主观亮度感觉曲线

人眼存在视觉惰性,在生活中有这样的体验:看了一个光源后闭上眼睛,眼前光的影子要过一会儿才消失,这就是视觉惰性造成的。人眼的视觉感觉总是滞后于光源信号。当光源突然出现时,人眼的视觉感觉以近似指数特性上升;在光源消失后也是以近似指数特性下降的。



#### 重要提示

电视技术中,黑白和彩色电视技术中的帧频采用 25Hz、场频采用 50Hz 就是考虑到人眼的视觉惰性,借助于视觉惰性,可以主观感觉到电视画面是连续活动的。

### 10. 三基色

存在三种独立的颜色,它们通过一定比例的混合可以获得自然界各种彩色,而一种彩色通过分



解可以得到这三种独立的颜色，这种独立的颜色称为基色。基色共有三种，称为三基色。

这三种颜色还有一个特性，即任何两种基色不能合成另一种基色，所以称它们为三基色。

三基色分别是：红色，用字母 R 表示；绿色，用 G 表示；蓝色，用 B 表示。

### 11. 混色相加图

如图 4-65 所示是混色相加图，图中三个圆分别表示红 (R)、绿 (G) 和蓝 (B) 三种基色，从图中可以看出

红 + 绿 + 蓝 = 白

红 + 绿 = 黄

红 + 蓝 = 紫

绿 + 蓝 = 青

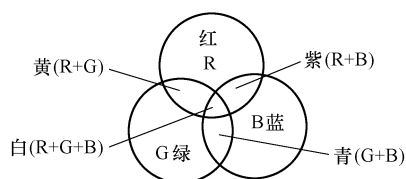


图 4-65 混色相加图

### 12. 混色方法

多种彩色混合在一起可以得到一种新的彩色。混合在一起的方法有三种：空间相加混色法、时间相加混色法和生理相加混色法。



#### 重要提示

空间相加混色法利用了人眼空间分辨能力较差的特点。只要三种基色的发光点相邻很近，且观察的距离足够远，当三种基色发光点同时发光时便能获得混色后的彩色效果。

目前，这种混色方法用于同时制的彩色电视机中。

### 13. 时间相加混色法

它利用人眼的视觉惰性实现混色，目前顺序制彩色电视机中采用这种混色方法。时间相加混色法是将三种基色发光点放在同一点，让它们按时间顺序依次发送，只要三种基色发光点的发光速度足够快，便获得混色效果。

### 14. 色度三角形

如图 4-66 所示是色度三角形，利用它可以帮助记忆混合过程。

三角形三个顶点分别代表三个三基色 R、G 和 B，它们中的任何一个不能用另两个基色通过混色获得。

三角形的三个顶点代表三个纯色，其色饱和度为 100%。

三角形内的任何一点由不同比例的 R、G 和 B 混色后得到。

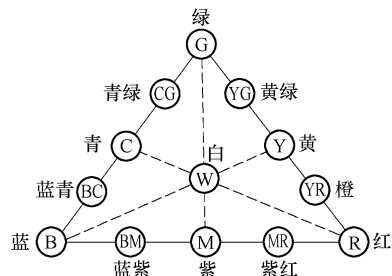


图 4-66 色度三角形

## ★4.6.2 扫描基础知识点

### 1. 帧

每一幅画面称为一帧。在电视机中，每秒钟要接收和处理 25 帧，这样才能正常重显活动的图像。这一帧数不能太多也不能太少，太多会有图像重叠现象，太少则图像有抖晃感。

### 2. 场

电视中，对每帧画面采用分成两个不同部分进行两次传送的方法，这两个不同部分的画面称之为场，即一帧图像有两场。

### 3. 荧光效应

像荧光粉这类有机化合物在受到高速电子轰击时，它们的表面会发出光，当轰击它们的电子数目越多其能量越大时，它们发光越强，这称之为荧光效应。

### 4. 活动图像传送

电视技术中，活动图像的传送方法是：通过摄像机将活动场面转换成一幅幅的瞬间静止的画

面,按一定的顺序将这静止的画面以每秒 25 帧(50 场)的频率传送。电视机接收到以后,以每秒 50 场(25 帧)的频率通过显像管重显,看到的图像便是连续的、活动的整体画面,如图 4-67 所示是显像管实物图。

### 5. 像素

近看显像管时,在屏幕上有许许多多的小点,如图 4-68 所示,每一个小点称之为一个像素,在电视机中重显的图像都是由这些像素发光明暗不同而构成的。

### 6. 扫描

扫描是指电子束沿某个方向的运动过程。在电视技术中有行扫描(水平扫描)和帧扫描(垂直扫描)两种,前者电子束在水平方向运动,后者电子束在垂直方向运动。

### 7. 光栅

电子扫描过程中,电子束在轰击显像管荧屏上的数十万荧光点(像素),只要行和帧扫描均正常的话,满屏的像素均发光,整个荧屏会亮起来,形成了一幅光栅,如图 4-69 所示是光栅示意图。



图 4-67 显像管实物图

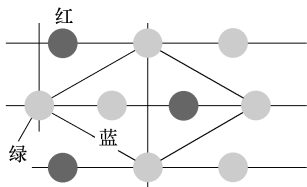


图 4-68 示意图

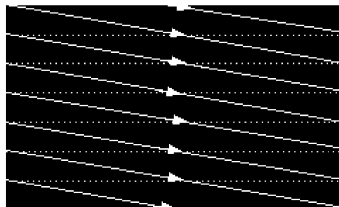


图 4-69 光栅示意图

在电视机的修理过程中,光栅的表现状况对故障的判断是十分重要的。



### 重要提示

光栅正常可以说明扫描电路工作正常;光栅存在几何失真说明行或场的线性不好;只有一条水平亮线或亮带说明场扫描不正常;只有一条垂直亮线或亮带说明行扫描不正常;只有一个亮点说明高压正常而行、场扫描均不正常;若无光栅则说明电子扫描根本没有进行。

由于图像是建立在光栅上的,光栅不正常就直接导致图像的不正常。

### 8. 电子偏转

磁场中的电子要根据磁场的方向和大小进行移动。在电视机中,为了控制电子束的扫描运动,设置了水平和垂直两个方向的偏转磁场。行偏转磁场由行偏转线圈产生,控制电子束的水平扫描;场偏转磁场由场偏线圈产生,以控制电子束垂直方向的扫描。如图 4-70 所示是电视机中偏转线圈实物图。

### 9. 扫描的正程和逆程

电视机中的水平扫描过程,电子束先从左向右扫描,这是行正程扫描;然后电子束快速从右向左返回到左侧,这是行逆程扫描。在垂直扫描中,电子束从上而下地扫描,这是场正程扫描;然后电子束快速从下而上返回到上端,这是场逆程扫描。在电视机中,图像信号只在扫描的正程中传送,在逆程期间是不传送图像信号的。

## ★4.6.3 水平和扫描基础知识点

### 1. 水平扫描原理

如图 4-71 所示是水平扫描原理示意图。上下对称放置了两个行偏转线圈,给线圈通入特定的锯齿波电流,通电的线圈要产生磁场,磁场方向垂直且向上,当电流方向相反后,磁场方向仍垂直



但方向相反。

电子束通过垂直的磁场，受磁场作用而产生水平方向的偏转。

## 2. 水平亮线产生原理

如图 4-72 所示是一行扫描的具体轨迹示意图。

水平扫描时电子束轰击这行上的各荧光点，使之发光，由于行扫描的频率比较高和视觉的惰性作用，同一个光点（像素）不断地受到轰击，只要两次轰击的时间间隔小于视觉的惰性时间，这一光点就好像始终在发光。一行的各光点都是一样在发光，所以行扫描的结果是产生一条水平的亮线。

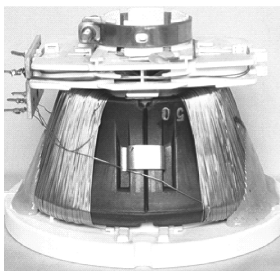


图 4-70 偏转线圈实物图

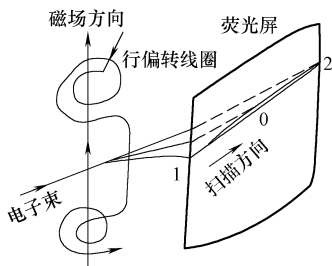


图 4-71 水平扫描原理示意图

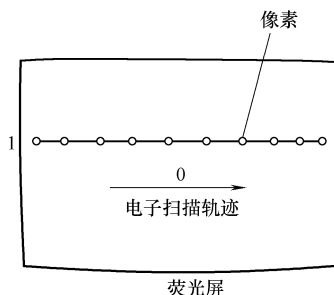


图 4-72 一行扫描的具体轨迹示意图

## 3. 垂直扫描原理

垂直扫描又称场扫描。

垂直扫描与水平扫描类似，如图 4-73 所示是垂直扫描过程示意图。

图中，有两个平行水平放置的偏转线圈，这是场偏转线圈，给它通入锯齿波电流（场扫描电流）后，会产生水平方向的偏转磁场。由于偏转磁场是水平的，所以对电子束的受力和偏转作用是垂直的。

## 4. 垂直亮线产生原理

当场扫描电流的大小和方向在变化时，电子束便沿垂直方向上下扫描，得到一条垂直的亮线，如图 4-74 所示，这便是场扫描。

## 5. 水平和垂直

在电视机中水平和垂直是同时扫描的，如图 4-75 所示是水平和垂直示意图。

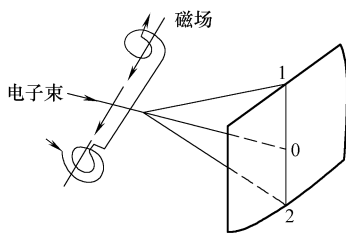


图 4-73 垂直扫描过程示意图

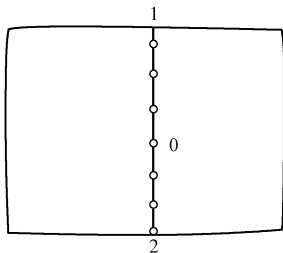


图 4-74 示意图

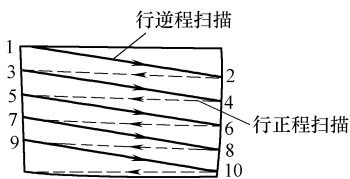


图 4-75 水平和垂直示意图

电子束在射向荧光屏的过程中，同时受到了水平和垂直两个方向的偏转磁场作用，电子束在水平方向偏转的同时还有垂直方向的偏转。



### 重要提示

在对一帧画面的扫描过程中，水平方向的扫描次数有许多，而垂直方向的扫描只有一次，这说明行扫描的频率远高于帧扫描的频率。

电视机荧光屏上各像素按一定规律明暗变化时，荧光屏便重显一帧画面。电视机荧光屏上有几

十万个像素，不可能用几十万个电子束来分别轰击各像素所在的荧光点，只有采用扫描的方法。

## 6. 隔行扫描

在电视技术中，对一帧画面是分成两场来传送的，这要求采用隔行扫描技术。

1) 奇数行扫描。如图 4-76 所示是奇数行扫描过程示意图。

隔行扫描中，先从左上角的 1 处开始扫描，扫完第一行后电子束返回到第三行的起点 3 处，开始扫第三行而不是扫第二行。扫完第三行后接着扫第五行、七行等奇数行，一直扫到奇数行的最后一行结束处 A 点。

图中只画出了九行而电视机中的行数远比这多得多。另外，奇数行的最后一行结束处 A 点在荧光屏的正中央下方。在扫完了全部的奇数行后，奇数场的扫描也结束了。

2) 偶数行扫描。奇数场扫描结束以后，电子束从 A 点处迅速返回到荧光屏的中央上方 B 点处，开始了偶数场的扫描，如图 4-77 所示。

偶数场的扫描是扫 2、4、6、8 等行（图中也只画出了 8 行），电子束扫完偶数场的最后一行时，电子束在荧光屏的右下角处 C 点。然后，电子束迅速返回到荧光屏的左上角 1 处，接着开始了第二次的奇数场扫描。

### 重要提示

在隔行扫描技术中，一帧图像是分成了奇数场和偶数场来扫描、传送的，扫完这两场才能得到一帧完整的画面。

如图 4-78 所示是奇、偶场合成后的光栅示意图，这是一帧光栅。

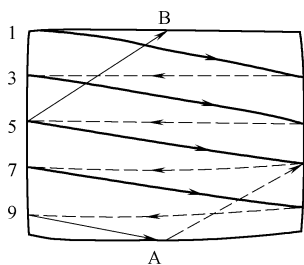


图 4-76 奇数行扫描过程示意图

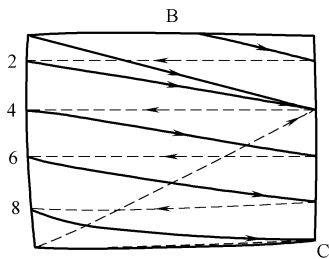


图 4-77 偶数场扫描

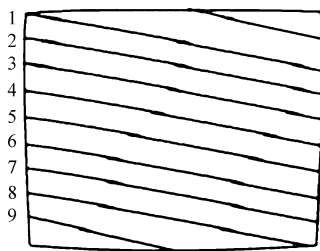


图 4-78 奇、偶场合成后光栅示意图

## 4.7

## 听觉特性和音响定律、效应知识点“集中营”

### ★4.7.1 听觉特性知识点

#### 1. 声音三要素

电信号可以用幅值、频率和相位三个参量来表达。用响度、音调和音色三个参量来表示声音的特性，俗称声音三要素。

#### 2. 响度

响度俗称音量，与声音强度有关的主观感觉可用响度来表示。响度表示听声音时人耳对声音强弱的主观感受，它主要与声波振幅有关。

### 重要提示

调整音响设备的音量电位器使音量增大时，便能感受到声音在增大。音量变大后，功率放大器馈入扬声器的电功率增大，扬声器纸盆振动的振幅增大，声波振幅增大，主观感受声音增大。





如图 4-79 所示等响度曲线说明。人耳听觉在中频段比较灵敏，而在低频段和高频段比较迟钝。要在高低端获得与中频段相同的响度，就要提高低频段、高频段声波的振幅，而且频率越低或越高，要求的声压级越高。



#### 重要提示

人耳对高频段、低频段声音的感知灵敏度还与声音的强度大小有关。声音越小，人耳对高、低频段的感知灵敏度越低。

正因为人耳的上述听觉特性，加上人们居住条件等因素的限制，在室内听声音时不可能将音响的音量开得较大，由于对高音和低音的感知欠灵敏，导致听音时感觉低音不够丰满、柔和，高音不够明亮、纤细、音响效果不佳。为弥补人耳的上述不足，在音响设备中设有响度补偿电路，用来在较小音量下分别提升放大器的高音和低音信号输出。

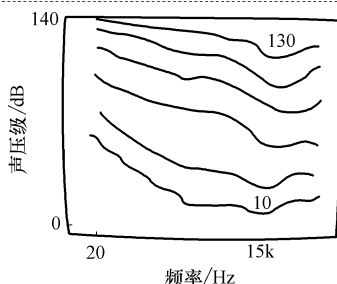


图 4-79 等响度曲线

### 3. 音调

音调又称音高，它反映了声波频率的高低。平时所说女高音、男低音就是指音调的高低。



#### 重要提示

根据生理声学和心理声学的研究成果表明，低音给人以丰满、柔和的感受，中音给人以雄壮、有力的感受，高音给人以明亮、纤细的感受。如，运动员进行曲以中音成分为主，如果以低音或高音为主则不会达到如此雄壮的效果。

不同频率的声响给人的心理感受是不同的。为了满足不同人群的听音喜好，在音响设备中设置了音调控制器，如图 4-80 所示是频率为 330Hz 的音调控制特性曲线，可以提升和衰减音频信号中的 330Hz 信号。

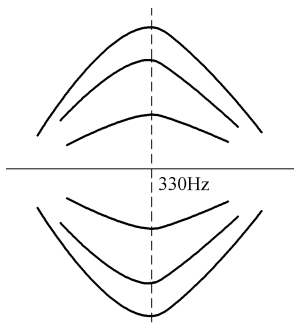


图 4-80 频率为 330Hz 的音调控制特性曲线

### 4. 音色

音色是指声音的色彩和特性，它主要取决于声音基频的频谱，就是谐波组成的成分、比例和声音的持续时间、声音的建立和衰变等因素，也就是取决于声音频谱中的泛音成分。此外，它也与基频和强度有关。



#### 重要提示

音色代表了音源的特色和个性，各种声源都有它特定的音色，而且各不相同。人的耳朵在辨别两个声源时，就是根据音色去区分它们的。

对于频率不高的基波来说，一般放大器都能不失真地放大、重放。但是基波的高次谐波频率却是很高的，而且频率成份丰富，要想不失真地放大和重放这些谐波，对放大器和音箱等的要求就很高了。

#### ★4.7.2 立体声及音响系统知识点

日常生活中我们听到的声音就是立体的，立体声的含义比较丰富，包括了声源的距离、方向、角度、移动，我们听到的这种声音场称之为自然声场。

##### 1. 立体声与高保真

立体声与高保真不是一回事，立体声是指听到的声音具有声像的移动感、空间感、临场感等方向感。

高保真是指通过音响设备重放出来的声音各种畸变很小，以致人耳无法觉察。立体声的音响设备不一定是高保真的，只有建立在高保真前提下的立体声音响设备才能达到高保真特性。

## 2. 双声道立体声

平时所讲的立体声，一般是指从双声道录放音系统出来的声音，但是双声道立体声距离真正的从自然声场中听到的立体声效果还差得很多。如图 4-81 所示曲线表明了声道数与立体声效果之间关系。

双声道立体声系统中使用左、右两个声道记录、重放信号。左侧的称为左声道，右侧的称为右声道。左、右声道的电路是完全对称的，即两个声道的频率响应特性、增益等电声指标相同。但是左、右声道中处理、放大的信号是有所不同的，主要是它们的大小和相位特性不同。所以将处理、放大不同相位特性信号的电路通路称为声道。

如图 4-82 所示是双声道电路结构框图。

## 3. THX 系统

如图 4-83 所示是采用 THX 环绕声解码器构成的家庭影院系统配置示意图。

THX 环绕声家庭影院系统使用了 6 只音箱，影院中的超低频音响得到明显的加强，大大改善了影院效果，突出了影院气氛。在影院系统中加重低音成分是不可缺少的，所以该系统加入超低音声道。

## 4. 杜比 AC-3 系统

如图 4-84 所示是杜比 AC-3 环绕声家庭影院系统配置示意图。这一系统采用 5.1 声道，采用全数字处理技术等。

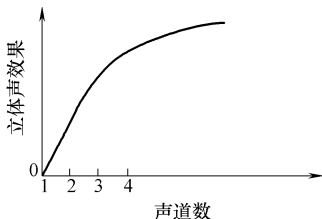


图 4-81 声道数与立体声效果之间关系

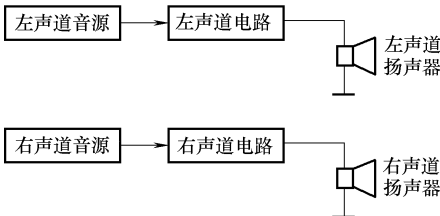


图 4-82 双声道电路结构框图

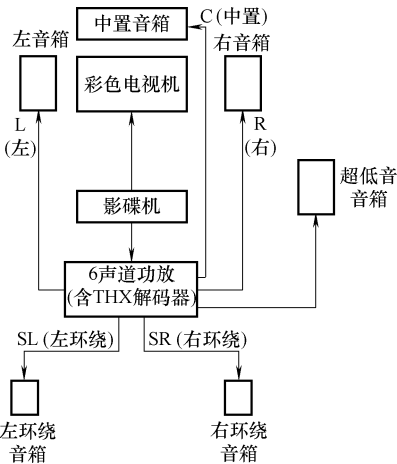


图 4-83 THX 环绕声解码器构成的家庭影院系统配置示意图

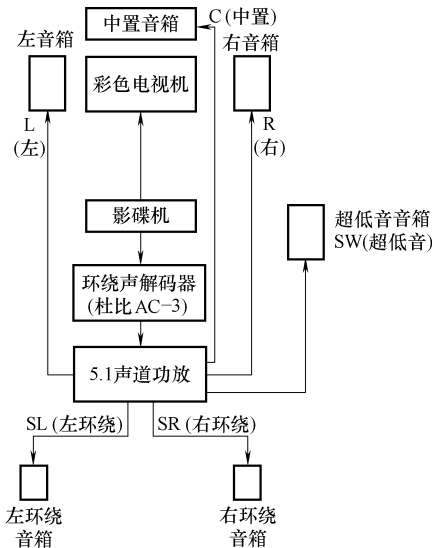


图 4-84 杜比 AC-3 环绕声家庭影院系统配置示意图

### ★4.7.3 听觉基本特性知识点

人的感觉器官有许多特性，这些特性过去只与心理学、生理学的研究有关，而现在已影响到音响设备的设计。



### 1. 听觉辨别力和容许畸变量

人耳听音时存在着对各种性质声音辨别能力的问题,声音的畸变量小到人耳无法分辨清楚时,可以认为高保真音响系统已达到了主观保真的程度。



#### 重要提示

由于高保真音响系统不可避免地存在不能完全保真的问题,因此只要使这些失真量控制在人耳无法分辨清楚的水平之内时,便可以获得高质量、高保真的音响效果。

在音响设备中,有许多电路都是根据人耳的有关特性进行设计,例如著名的杜比降噪系统。

### 2. 可闻声范围

一般来说,可闻声的频率范围为  $20 \sim 20000\text{Hz}$ ,且与人的年龄有关,年龄超过 25 岁,对  $15\text{kHz}$  以上声音听音灵敏度明显下降,为逐年下降。对可闻声的声压级来讲,一般  $0\text{dB}$  以上是可闻的。当声压级大到  $120\text{dB}$ ,由于声音太响人耳会感到不舒服。

### 3. 频率域主观感受

频率域中最重要主观感觉是音调,像响度一样,音调也是一种听觉的主观心理量,它是听觉判断声音调门高低的属性。



#### 重要提示

心理学中的音调和音乐中音阶之间的区别是,前者是纯音的音调,而后者是音乐这类复合声音的音调。复合声音的音调不单纯是频率解析,也是听觉神经系统的作用,受到听音者听音经验和学习的影响。

### 4. 时间域主观感觉

如果声音的时间长度超过大约  $300\text{ms}$ ,那么声音的时间长度增减对听觉的阈值变化不起作用。对于音调的感受也与声音的时间长短有关。当声音持续的时间很短时,听不出音调来,只是听到“咔嚓”一声。声音的持续时间加长,才能有音调的感受,只有声音持续数十毫秒以上时,感觉出的音调才能稳定。

时间域的另一个主观感觉特性是回声。

### 5. 空间域主观感觉

人用双耳听音比用单耳听音具有明显的优势,其灵敏度高、听音阈值低、对声源具有方向感,而且有比较强的抗干扰能力。



#### 重要提示

在立体声条件下,用扬声器和用立体声耳机听音获得的空间感是不相同的,前者听到的声音似乎位于周围环境中,而后者听到的声音位置在头的内部,为了区别这两种空间感,将前者称为定向,后者称为定位。

## ★4.7.4 音响技术重要定律和效应知识点

### 1. 听觉的韦伯定律

韦伯定律表明了人耳听声音的主观感受量与客观刺激量的对数成正比关系。当声音较小,增大声波振幅时,人耳的主观感受音量增大量较大;当声音强度较大,增大相同的声波振幅时,人耳主观感受音量的增大量较小。



#### 重要提示

根据人耳的上述听音特性,设计音量控制电路时要求采用指数型电位器作为音量控制器。这样

均匀旋转电位器转柄时，音量是线性增大的。

## 2. 听觉的欧姆定律

著名科学家欧姆发现了电学中的欧姆定律，同时他还发现了人耳听觉上的欧姆定律，这一定律揭示：人耳的听觉只与声音中各分音的频率和强度有关，而与各分音之间的相位无关。根据这一定律，音响系统中的记录、重放等过程的控制可以不去考虑复杂声音中各分音的相位关系。

### 重要提示

人耳是一个频率分析器，可以将复音中的各谐音分开。人耳对频率的分辨灵敏度很高，在这一点上人耳比眼睛的分辨度要高，人眼无法看出白光中的各种彩色光分量。

## 3. 掩蔽效应

环境中的其他声音会使听音者对某一个声音的听力降低，称之为掩蔽。当一个声音的强度远比另一个声音大，大到一定程度后只能听到响的那个声音，而觉察不到另一个声音的存在。

掩蔽量与掩蔽声的声压有关，掩蔽声的声压级增加，掩蔽量随之增大。另外，低频声的掩蔽范围大于高频声的掩蔽范围。

### 重要提示

人耳的这一听觉特性给设计降低噪声电路提供了重要启发。磁带放音中，有这样的听音体会，当音乐节目在连续变化且声音较大时不会听到磁带的本底噪声，可当音乐节目结束（空白段磁带）时，便能感觉到磁带的“咝……”噪声的存在。

为了降低噪声对节目声音的影响，提出了信噪比（S/N）的概念，即要求信号强度与噪声强度比足够的大，这样听音便不会觉得有噪声的存在。一些降噪系统就是利用掩蔽效应的原理设计而成的。

## 4. 双耳效应

双耳效应的基本原理是：如果声音来自听音者的正前方，此时由于声源到左、右耳的距离相等，从而声波到达左、右耳的时间差（相位差）、音色差为零。此时感受到声音来自听音者的正前方，而不是偏向某一侧，如图 4-85 所示。声音强弱不同时，可感受到声源与听音者之间的距离。

## 5. 哈斯效应

哈斯的试验证明：在两个声源同时发声时，根据一个声源与另一个声源的延时量的不同，双耳听音的感受是不同的，可以分成三种情况：

之一：两个声源中一个声源与另一个声源的延时量在 5 ~ 35ms 以内时，就好像两个声源合二为一，听音者只能感觉到超前一个声源的存在和方向，感觉不到另一个声源的存在。

之二：若一个声源延时另一个声源 30 ~ 50ms 时，已能感觉到两个声源的存在，但方向仍由前导所定。

之三：若一个声源延时量大于另一个声源 50ms 时，则能感觉到两个声源的同时存在，方向由各个声源来确定，滞后声为清晰的回声。

哈斯效应是立体声系统定向的理论基础之一。

## 6. 德·波埃效应

它是立体声系统定向的另一基础，德·波埃效应的实验是：放置左、右声道两只音箱，听音者在两只音箱对称线上听音，给两只音箱馈入不同的信号，可以得到以下定论：

之一：如果给两只音箱馈入相同的信号，即强度级差  $\Delta L = 0$ ，时间差  $\Delta t = 0$ ，此时只感觉到一

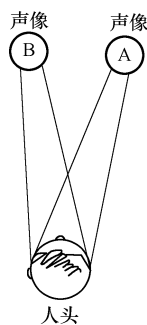


图 4-85 示意图



个声音，且来自两只音箱的对称线上。

之二：如果两只音箱的强度级差  $\Delta L$  不为 0，此时听音感觉声音偏向较响的一只音箱，如果强度级差  $\Delta L$  大于等于 15dB，此时感觉声音完全来自较响的那一只音箱。

之三：如果强度级差  $\Delta L = 0$ ，但两只音箱的时间差  $\Delta t$  不为 0，此时感觉声音向先到达的那只音箱方向移动。如果时间差  $\Delta t$  大于等于 3ms 时，感觉声音完全来自先到达的那只音箱方向。

#### 7. 劳氏效应

劳氏效应是一种立体声范围的心理声学效应。

劳氏效应揭示：如果将延迟后的信号再反相叠加在直达信号上，会产生一种明显的空间感，声音好像来自四面八方，听音者仿佛置身于乐队之中。

#### 8. 匙孔效应

单声道录放系统使用一只传声器录音，信号录在一条轨迹上，放音时使用一路放大器和一只扬声器，所以重放的声源是一个点声源，如同听音者通过门上的匙孔聆听室内的交响乐，这便是所谓的匙孔效应。

#### 9. 浴室效应

身临浴室时有一个切身感受，浴室内发出的声音，混响时间过长且过量，这种现象在电声技术的音质描述中称为浴室效应。

当低、中频某段夸张，有共振、频率响应不平坦、300Hz 提升过量时，会出现浴室效应。

#### 10. 多普勒效应

多普勒效应揭示移动声音的有关听音特性：当声源与听音者之间存在相对运动时，会感觉某一频率所确定的声音其音调发生了改变。当声源向听音者接近时是频率稍高的音调，当声源离去时是频率稍降低的音调。这一频率的变化量称为多普勒频移。



#### 重要提示

在距听音者同样距离时，移近的声源比不移动时产生的强度大，而移开的声源产生的强度要小些，通常声源向移动方向集中。

#### 11. 李开试验

李开试验证明：两个声源的相位相反时，声像可以超出两个声源以外，甚至跳到听音身后。

李开试验还提示，只要适当控制两声源（左、右声道扬声器）的强度、相位，就可以获得一个范围广阔（角度、深度）的声像移动场。

## 4.8 音箱和声学知识点“集中营”

### ★4.8.1 音箱器材知识点



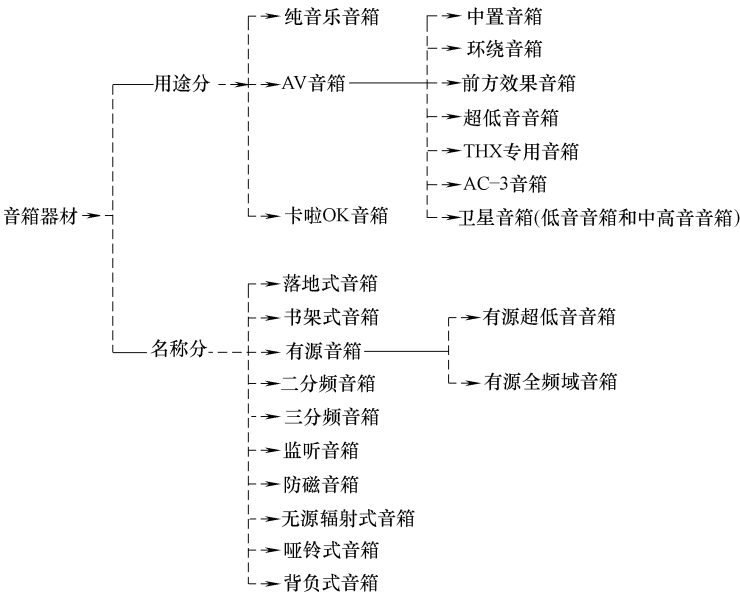
#### 重要提示

在音响系统中，音箱是最重要的器材了，特别是纯音乐系统中的左、右声道音箱。音箱的作用就是将功率放大器输出的电信号，高质量、高效率地还原成声场。

#### 1. 形形色色音箱

在音响器材中，音箱的种类、牌号最多，大大小小、形形色色的音箱令人目不暇接、眼花缭乱，在家用音响系统中按用途划分主要有三大类：一是纯音乐型的音箱，二是 AV 型的音箱，三是卡拉 OK 专用的音箱，如下所示：





2. 纯音乐音箱

纯音乐音箱专门用于纯音乐系统中欣赏音乐，系统中共用两只这种的音箱，左声道和右声道各一只，两只音箱的性能一致，这种音箱能够更好地表示声音的音乐性。对纯音乐音箱的要求高于对 AV 音箱和卡拉 OK 音箱，所以有纯音乐音箱的价格也最贵。



重要提示

在一些响当当的品牌音箱中，根据音箱的品质和价位的不同分成金旗舰、银旗舰、小旗舰和非旗舰级音箱，旗舰级音箱在同系列中属于高档音箱，其中金旗舰最高，小旗舰在旗舰级音箱中最次，但比非旗舰级音箱也要明显高出一个等级来。

3. AV 音箱

AV 音箱是专用于家庭影院系统中的音箱，AV 音箱有套装的，即有同一个生产厂制造的用于某种类型家庭影院的专用音箱，如 THX 专用音箱等。AV 音箱也可以自行分别选配，即可以选用不同生产厂的 AV 音箱构成一套 AV 音箱。关于 AV 音箱说明下列几点：

- 1) AV 音箱多于两只，不像纯音乐音箱只有两只。AV 音箱以套为单位，一套 AV 音箱中具体有多少只音箱根据不同情况也不同，最多的一套中可以达 10 只音箱，但少也要 4 只。
- 2) 一般情况下，AV 音箱至少是左和右两只主音箱、中置音箱和两只环绕音箱共 5 只。最多时，在上述基础上再增加两只前方效果音箱、增加一只中置音箱（双中置）、两只超音低音音箱（立体声超低音音箱）。
- 3) AV 音箱的设计出发点是最佳地表现影院效果，重点要表示声音的力度和声场的气势，所以 AV 音箱不宜用于纯音乐系统中代替纯音乐音箱。
- 4) 在成套出售的 AV 音箱中，各音箱对声音的表现具有一致性，但成套 AV 音箱品种少、选择余地不同，所以往往是自行配套。在自行配套时，要保证前方三只音箱（左和右主音箱、中置音箱）性能一致，最好是同一品牌中的同一档位音箱。环绕音箱和超低音音箱可用不同牌号的音箱。
- 5) 由于 AV 音箱比较多，所以在同档次情况下，相对而言比纯音乐音箱贵一些。如果 AV 音箱中的每只音箱都是高标准的，那么要比纯音乐音箱要贵许多。

4. 中置音箱

中置音箱是家庭影院系统中的一只重要音箱，电影中的声音对白声都是从这一音箱中出来的，



该音箱位于左、右声道主音箱的中间,可置于电视机之上或之下。由于中置音箱距离彩色电视机较近,所以要求这一音箱是防磁音箱,因为彩色电视机附近不能有磁场,否则会屏幕出现色斑。

### 5. 环绕音箱

环绕音箱可以说是家庭影院系统中特有的音箱,它用来将听众背面的声音再现出来。环绕音箱置于听众的背面,左侧和右侧各一只,两只音箱性能相同。在不同的家庭影院系统中,对环绕音箱的要求是不同的。

在 THX 家庭影院系统中,环绕音箱是特定的,要符合 THX 环绕音箱的要求。

在 AC-3 家庭影院系统中,一般有小功率音箱是不能采用的,要采用同左、右声道主音箱相同功率的大功率音箱,因为在 AC-3 家庭影院系统中,环绕声道放大器的输出同主声道的输出功率相同。

### 6. 前方效果音箱

这是一对小功率的音箱,左、右声道各一只,在一些 DSP 系统中需要用这种前方效果音箱来达到前方声场的深度效果。

### 7. 超低音音箱

在家庭影院系统中,为了达到影院效果设置了超低音声道,超低音音箱用来重放超低音声音。超低音音箱有两种:一是有源的超低音音箱,这是常见的超低音音箱。二是无源超低音音箱,一般这种音箱档次较低。另外,还有一种专用的辅助低音音箱。

### 8. THX 专用音箱

THX 音箱用于 THX 家庭影院系统中,这是一套有专门要求的音箱,价格较贵。全套 THX 音箱共有 6 只音箱,左和右主声道音箱、左和右声道环绕音箱、中置音箱和超低音音箱。THX 音箱成套购置。

### 9. AC-3 音箱

AC-3 音箱也是 6 只音箱一套,各音箱作用都与 THX 音箱相同,但对音箱的要求不同于 THX 音箱,主要是要求中置、左和右声道环绕音箱要与左、右声道主音箱一样,都是同功率和全频域音箱。AC-3 音箱有成套的,也可自行选配。

### 10. 卫星音箱

卫星音箱也是成套出来,这套音箱中有低音音箱和中高音音箱两部分组成。这种成套音箱与众不同,它的左和右声道音箱、环绕音箱都是体积很小的音箱(每个像一本字典大小),则音箱中都只含中高音单元(扬声器),不设低音单元,低音单元由一只专门的有源音箱担任,即整个声场中的低音由一只低音音箱发出,这是一种非常独特的设计,利用低音与声像定位关系不大的原理,省去了各音箱中的低音扬声器。由于低音音箱体积大,而其他音箱体积很小,像地球与卫星一般,所以称为卫星音箱,美国的 BOSE(博士)音箱就是这种音箱。



#### 重要提示

低音虽然对声像的定位没有中、高音那么影响大,但也是相关的,所以采用这种卫星音箱作为 AV 音箱对声像的定位还是有些影响的。

### 11. 落地式音箱

音箱在听音室内的放置方式有三种:一是将音箱直接立于地面,落地式音箱就是这种音箱。二是将音箱置于一个音箱架上。三是将音箱置于墙体上,如卫星音箱中除低音音箱外就是采用这种放置方式。

落地式音箱体积比较大,所以可直接放置于地面。由于这种音箱体积比较大,可以采用较大口径的低音扬声器,这样低音效果可得到有效改善,所以落地式音箱的低音效果一般比较好,这是公认的。

## 12. 书架式音箱

书架式音箱的体积明显小于落地式音箱，所以它不能直接放于地面，需要使用其他支撑，例如专用的音箱架等。书架式音箱的优点是摆位方便，立体声声像的定位准确等。

由于书架式音箱的体积较小，所以它所用的低音扬声器口径不可能大，这样影响了这种音箱的低音效果，但是许多书架式音箱并不因为这一点低音效果而大打折扣，相反通过改良低音单元等措施，在低音的表示方面胜于一些落地式音箱，一些性能很好、名气的音箱都是书架式音箱。

## 13. 有源音箱

有源音箱就是将功率放大器（后级放大器）置于音箱壳体内的一种音箱，由于放大器工作时需要电源，这种音箱在工作时要接 220V 交流电源，所以称为有源音箱。

有源音箱有两大类：一是超低音的有源音箱，这是目前家庭影院系统中采用的有源音箱，这种音箱又称低音炮。二是全频域有源音箱，常见的这种有源音箱主要用于多媒体计算机中，其性能一般。

有源全频域音箱也有精品，有些有源全频域音箱采用了一些专利技术，如“有源机电伺服技术”，这一技术除普通的负反馈电路之外，还特别从传感元器件中取出决定扬声器单元振幅特性（声压特性）的电流，对全电路进行补偿，使放大器输出阻抗呈负阻特性，这使得放大器驱动音箱时整个系统接近刚性状态，在小体积音箱条件下重放低音下限大大延伸，因此再重放重低音。另外，放大器的阻抗特性短接了扬声器的反向电动势和失真，极大地提高了整个系统的阻尼系数，克服了由于阻尼系数不高而引起的声音拖泥带水现象。

有源音箱在切断电源后，可以作为无源音箱使用。

## 14. 二分频音箱

由于采用一只扬声器，不能更好地重放低音、中音和高音，这是因为重放低音时主要是扬声器的边缘在振动，当扬声器纸盆口径大、盆的边缘柔软时，低音重放效果好。当扬声器重放高音时，主要是纸盆的中央部分在振动，当纸盆质地硬时，高音重放的效果才会良好。显然，当扬声器在重放低音和高音时对纸盆的要求是矛盾的，大口径扬声器的低频特性好，小口径扬声器的高频特性好，为了充分利用各种口径的不同频率特性，音箱采用两只或三只不同口径的扬声器，这就是二分频音箱或三分频音箱。

二分频音箱就是一只音箱中采用中低音单元和高音单元两只扬声器的音箱，这种音箱中的中低音单元扬声器用来还原中音和低音声音，高音声音则由高音扬声器完成，目前绝大部分的音箱都是二分频音箱，一些著名音箱都是二分频音箱。



### 重要提示

有的二分频音箱中为了加强低音效果和改善声场，设置了两只相同口径的中低音扬声器，如哑铃式音箱，这种音箱仍然是二分频音箱，不是因为有了三只扬声器就是三分频音箱。

## 15. 三分频音箱

三分频音箱就是一只音箱中采用低音单元、中音单元和高音单元三只扬声器的音箱，这种音箱中的低音、中音和高音分别由各自的低音、中音和高音单元扬声器还原。从工作原理上讲，三分频音箱性能应该优于二分频音箱，但实际情况并非如此简单。

二分频音箱由于只采用两个不同的单元，所以只有一个分频点，而三分频音箱采用三个不同的单元，存在两个分频点。音箱中，对分频点的处理是十分复杂的，分频器（设在音箱内部）设计不好，将影响音箱的良好表现。所以，除非在十分高级的三分频音箱中，对分频器和各单元扬声器进行精心设计和制作，三分频音箱才有最佳的工作表现，当然这样的音箱价格相当昂贵。一般来说，不是十分顶级的音箱，二分频音箱要比三分频音箱要好些，所以目前市场上大量见到的都是二分频音箱。



## 16. 监听音箱

监听音箱主要用于一些录音棚、录音后期处理的监听用,这种音箱的特点是高保真地还原,原汁原味地还原音乐作品的本来面貌,无声染。监听音箱也越来越多地被发烧友用于家庭的纯音乐系统中。

## 17. 防磁音箱

一般音箱中的扬声器都是采用外磁式扬声器,在这种扬声器的周围存在磁场,本来这种磁场对音响系统并无影响,但在家庭影院系统中的彩色电视机对这种磁场非常敏感,这一磁场会破坏电视机的彩色画面,所以要消除音箱的这种磁场干扰。目前,家庭影院系统中的音箱,主要是要求中置音箱采用防磁音箱。防磁音箱中的扬声器采用内磁式扬声器,这种扬声器的周围不存在磁场,所以这种音箱具有防磁作用。防磁音箱只是具有防磁功能,在其他方面与一般音箱没有不同之处。

## 18. 无源辐射式音箱

无源辐射式音箱又称空盆音箱,这种音箱的面板上设有两个大小相同的低音单元盆,其中一个才是真正的低音扬声器盆,另一个则是空盆,这种音箱较常见。

无源辐射式音箱实际上是倒相式音箱的一种变异形式,它的发明已有62年历史(1935年由美国人奥而森发明)。这种音箱的空盆是通过音箱内空气振动而被动地振动,能够改善低音效果。

无源辐射式音箱与普通倒相式音箱相比有优点:一是低音频段的重放灵敏度较高,二是低音的解析力较好,三是音箱内不容易产生驻波,四是空盆可减小扬声器的振幅,五是空盆的谐振频率容易调整。

## 19. 哑铃式音箱

哑铃式音箱采用二分频全对称结构,即采用两只相同的低音扬声器串联或并联起来,使用一只高音扬声器。这种音箱的优点是重放的低音、中音和高音在位置上重合,避免了声像的飘移现象,另一个优点是大动态时非线性失真小。这种音箱的缺点是摆位要求高、最佳音场范围狭。

## 20. 背负式音箱

背负式音箱是倒相式音箱中的一种,它的倒相孔不像传统的倒相式音箱设置在音箱的正面,而是设在背板上(也可以用一个空盆设在背板上),这是近几年对绕射声原理最新研究的成果。这种音箱能更好地利用绕射声提高音箱的瞬态反应能力,扩展声场的宽度,获得更好的现场感。

## 21. 音箱架

音箱架是书架式音箱不可缺少的附件,可以这么讲,没有一副好的音箱架,好的音箱也不可能处于最佳的发挥状态。如果音箱架不稳定、不沉重,那么音箱发出的声音会产生互调失真,影响声音的清晰度、通透性,声音会出现拖尾。

对音箱架的要求主要有两点:一是避振,二是能够吸收振动。音箱架的作用除将音箱升高到合理的高度外,还要将音箱与地面之间相隔离。音箱的振动不能传递到地面,地面的振动也不能传递到音箱,另外音箱架本身要稳重,自身的振动要极小。

音箱架按材料划分有金属的和木制的,音箱架的高低、大小也有多种规格。不同质量的音箱架其价格相差很大,一般上百元,高级则数千元。

## 22. 避振钉

避振钉又称为脚钉,它被发烧友称为神钉。脚钉装于落地式音箱底部,音箱架的底部脚钉,音箱架的台面上也有的装上避振钉。避振钉是将音箱与音箱架隔离、脚钉是将音箱与地面隔离的重要附件。一只音箱的底部可能是三颗脚钉,也可以是四颗,每颗脚钉的高度可以调整。音箱架台面上有装三颗避振钉。避振钉有金属和橡皮的两种,前者用于硬质地面,后者用于木地板这类的软质地面。

一般来讲,使用避振钉之后,由于将音箱与地面等有效地隔离,使低音的反射量减小,减少了低音中哄的声感,同时高音变亮。一般金属避振钉使用时都有一个高音变尖、低音显薄的副作用,但从整体上改善了声音效果,因此这一毛病微不足道。



脚钉的档次相差也是很大的,高质量脚钉数百元,甚至上千元一副。使用避振钉后虽然对低音有些收紧而掉了一些低音量感,但收紧的尺度控制得比较好,所减小的低音量感不大,从而使低音的播放更凝聚、更干净。在低音方面,声像更加纤细,聚焦更佳。

## ★4.8.2 线材知识点

### 1. 视频信号线

视频信号线又称影像线,是一种传送视频信号的线材。在家庭影院中,表征图像内容的电信号要传送到电视机或其他监视设备中,可有三种信号传送方式:视频信号、射频信号和 S 信号,各用不同的线材料。

### 2. 射频信号线

彩色电视机上不设 V-IN 插口时,就只能用射频信号连接方式。影碟机中的视频信号 V 和音频信号 A 通过 RF 调制电路混合,从射频信号输出插口 RF-OUT 输出,通过射频连接线从电视机的 RF IN 插口中输入。

在这种连接方式中,视频信号和音频信号在影碟机中进行了一次混合处理,又在电视机中进行了分离处理,这两次处理对信号产生失真,使信号传送质量下降,所以这是一种最次的连接方式。

### 3. S 端子线

S 端子的全称为 S-Video, S 是 Super,意为高清晰度,即为高清晰连接方式。S 端子 1987 年由日本 JVC 公司发明,并首先用于 S-VHS 录像机中,之后广泛用于大屏幕彩色电视机等视频设备中。

### 4. 分量信号传输线

分量信号(Y、R-Y、B-Y)用三根线分别传输亮度信号和两个色差信号。

### 5. 交流电源线

这里所说的电源线是音响系统中各单机的交流电源线,如果采用的交流净化电源,那么也包括它的交流电源线。音响系统中的有众多的线材料要换,当换过喇叭线、信号线或光缆线等线材之后,可考虑换电源线。

电源线是给 CD、前级、后级提供电源能量的“生命线”,它的质地好坏“竟然”也会影响声场、定位感、解析力、音染之类靓声的要素,当然听出电源“鸡线”和这种专业电源线对靓声有影响的人一定要有一副金耳,否则只能是聋子的耳朵。

### 6. 音频信号线

音频信号按传输电平大小来讲是标准电平信号线,其传输电平一般为 0.5~1.5V 之间,最常见是 0.775V (0dB) 和 1.228V (4dB)。

音频信号线在全套线材中对靓声的影响排行老二,由于这是一根小信号过机线,加之后面放大器的放大作用,此线的声染不可忽视。

### 7. 数码同轴线

CD 机输出的音频信息可以有两大类共三种方式传送出机外:一是模拟的音频信号,二是音频数码流,这是取自 CD 机 DAC 之前的数码信号,该信号经 DAC 之后才能得到双声道的音频模拟信号。在一些较高级 CD 机中,为了预留升级空间,预备了数码输出插口(COAXIAL)。从这一插口输出的数码信号要通过数码同轴线才能加到分置式的 DAC 或具有数码输入接口的功放中。这种线不但可用来传送数码信号,还可以用来作为视频信号线。

数码同轴线做成同轴式结构,即芯线为单股线居中,外层包绝缘材料,再在外层包一层导线(地线),最外层再是绝缘外皮。这种线阻抗为  $75\Omega$ ,由于振动对数字信号的传输影响较大,所以发烧数码同轴线要求有很讲究的避振处理。

### 8. 光纤线

CD 机除可以采用数码方式输出音频信息流之外,在一些更高级的 CD 机中同时还可采用光学





数码方式输出音频数码流,此时 CD 机上设有光学(OPTICAL)数码输出插口,此插口通过光缆线与 DAC 或具有光学数码输入插口的功放相连,经 DAC 得到双声音频信号。

在采用光纤线传送信号时,光缆里传输的是光信号,光信号是按数字音频信号的规律调制。

### 9. 喇叭线

喇叭线在全部线材中是发烧友最爱“摩”的线,此线属大电平信号线材,信号电平在十几伏至几十伏之间,在众多的发烧线中它的品种、花色最为繁多,价格在数百元至数万元之间不等,可谓“一米千金”。

喇叭线由于是高电平信号线,所以大多数不作屏蔽处理,但也有例外,瑞宝喇叭线就是例外,它在线芯与外皮之间设置一道铜质屏蔽网,以作防磁之用。这种喇叭线内部有四根彼此独立的绝缘外皮线芯紧密绞合在一起,两条线芯为一组,外面再用高张力纸缠紧,起防振作用。

对喇叭线的基本要求是线径要粗,线材的铜质要纯,线要柔软,外皮上的所印字符要耐磨。

喇叭线的两端插头有两种:一是以压线钳压接的纯铜线叉,有的是香蕉插。

喇叭线有套装线,即线长已确定,但有多种长度供选择。也有的是可任意选择长度,需要多少可剪多少,价格与长度有关,线长价格贵。

### 10. 传声器线

传声器线属小电平信号线,其信号电平一般只有几毫伏,所以抗干扰显得尤为突出。传声器线有平衡式和不平衡式两种,前者是一种高级输入输出方式,线中的三根芯,此时要求机器的传声器输入为平衡式输入,这种输入输出方式对提高抗干扰性能十分有利。不平衡输入输出方式的传声器线中只有两根芯线,一般传声器线采用这种形式的线。

优质传声器线其金属屏蔽网层密集,芯线较粗,在低温下线材仍然柔软,为了防止传声器线在移动中的打结,有些好线在里面夹些纤维,以增加强度。

无论是哪种传声器线,它的最外层均要设置屏蔽网,以起抗干扰作用。

## ★4.8.3 听音室声学条件和改良方案知识点



### 重要提示

同样一套音响系统放置于不同的房间时其音响表现情况是有所不同的,这里所讲的有所不同是指听音时的声场大小、音色差别等,存在听感的稍有不同。

同样一套系统放置在室内的不同位置,也存在上述的有所不同,所以系统器材(主要是音箱群)在室内的摆放就相当重要,这其中的根本性原因就是室内声学条件对系统表现的影响,通过合理的音箱摆位和室内声学条件的简单调控,可以使系统处于最佳发挥状态。

### 1. 听音效果四环节

了解下列影响听音效果的四个环节,对玩音响、改良音响效果有很大益处。

1) 硬件器材的品质要优良,这是指全线器材要精心挑选和搭配,这是获得靓声的最重要一环。

2) 软件节目要仔细筛选,在相同的听音硬件、系统和听音环境下,不同版本录制的软件,其音色、声音细节等方面都会有相当大的不同。

3) 听音室声学特性对听音效果的影响举足轻重,听音室的不同声学环境会影响声音细节、影响音乐的感染力和音场气氛等。

4) 扬声器系统的摆位。

### 2. 听音室几何尺寸要求

1) 等边房间声学条件最次。听音室的房体长、宽、高几何尺寸往往由于建筑原因而不能改变,但在选择房间时应有所考虑。

重要提示

当房间的长、宽、高三个尺寸相同时，作为听音室最不理想，此时有 10 个明显的共振频率点。由于室内墙壁、地板和天花表面光滑、较坚硬，当声源发声时会激发室内某些固定频率的声音，引起所谓的共振现象，使声源中的某些频率声音被过份地加强，扬声器中发出的声音中被附加上另外的音色，即声染色现象，这大大有害于声音的原汁原味重现。

同时，这种共振还会导致某些频率（主要是低频）声音在空间上分布不均匀，在某些点处出现过份加强，而在另一些点处出现低谷，使听音室内的声场分布不匀。

2) 长方体房间声学条件一般。当将听音室长、宽、高尺寸比值取一个无理数时（如 1.6:1.25:1），上述共振在室内分布比较均匀，可减轻这种共振带来的危害。在一些较小听音室内出现低频的轰鸣声与上述共振现象直接相关。

3) 推荐尺寸。国际电工委员会推荐的听音室高、长、宽之比为 1:2.4:1.6，房间面积应大于  $20\text{m}^2$ 。当房间面积太小时，立体声效果不理想。另外，房间不能太长，也不可太宽。其具体尺寸是高  $2.75\text{m} \pm 0.25\text{m}$ ，长  $6.6\text{m} \pm 0.6\text{m}$ ，宽  $4.4\text{m} \pm 0.4\text{m}$ ，房间容积  $80\text{m}^3 \pm 20\text{m}^3$ 。

音箱的地面无地毯，音箱的背面与天花为反射性，听音者背面为吸声性。混响时间 100Hz 为 0.4 ~ 1.0s，400Hz 为 0.4 ~ 0.6s，1kHz 为 0.4 ~ 0.6s，8kHz 为 0.2 ~ 0.6s。

### 3. 室内混响时间要求

1) T60 定义。所谓混响是由于室内墙体等各表面对声波无规则乱反射的结果，用混响时间 T60 表征一个听音室的混响情况。当室内建立稳定的声场后，突然切断声源，当声音续持衰减到原声场百万分之一（降低 60dB）所经历时间，定义为混响时间 T60，单位为秒（s）。

同一个听音室内，不同频率的混响时间不同，在没有特别注明时为 500Hz 的混响时间。

2) 影响 T60 的因素。混响时间与房间的大小成正比关系，房间越大，混响时间越长。与房间内的总吸声量成反比，室内吸音越强，混响时间越短。在房间大小确定后，只能通过改变室内的总吸声量大小来调整混响时间。

3) T60 大小对声音影响。房间内的混响时间对听音有很大影响，它是听音室众多声学要求中极其重要的条件。混响时间要适当，才能使声音听起来感到圆润、丰满、生动，没有水分，音乐才能产生很强的感染力。

如果听音室内混响时间过短，声音会发干，有沉静、死寂之感，不动听，音乐无感染力。如果混响时间过长，则声音发混、不清晰，层次感不强，声音拖着长长的尾巴，尤如身临浴室一样。

对于家庭听音室而言，一般混响时间取 0.2 ~ 0.6s 左右。

4) 不同声源下的混响时间要求。听音室混响时间除与听音室的容积、音箱种类有关外，还与声源内容相关。

重要提示

对作为 AV 视听室时，要求混响时间小些，平均吸声系数可取 0.35%。对加入 DSP 声场处理系统时，要求混响时间更小些，平均吸声系数更大些。

若用于大音量下听流行音乐时混响时间可大些，平均吸声系数可取 0.3s。对于聆听古典音乐时，要求混响时间更大些，平均吸声系数可取 0.20s 左右。

5) 不同听音状态下的混响时间要求。若大音量下听音，混响时间可短些（吸声强些），在小音量下听音则相反。

若采用纯音乐音箱，即为声场型音箱，混响时间可长些（吸声弱些）。若是声像型音箱（AV 音箱），混响时间可短些（吸声强些）。



#### 4. 声波入射墙体后的四种情况

声波也是一种能量，宇宙间能量守恒。当声波入射墙体后，其能量出现下列四种转换形式：

- 1) 大部分能量被墙面反射回来，仍然以声波形式存在于听音室内的空间。
- 2) 一部分能量由于声波入射时引起墙体表面的振动而被消耗。
- 3) 一部分量穿透过墙体而溢出听音室外。
- 4) 一部分能量被墙体表面装饰材料吸收后而转换成热能。

当第一种情况过份时，说明混响时间过长。当第二种情况过份时，会引起声染色现象，对原听原味还原声音有百害而无一益。当第三种情况过份时，室外的嘈杂之声也会以方式窜入听音室内，影响正常听音。所以，降低听音室内 T60 最好方式时借助是第四种能量吸收的方式。

#### 5. 改变室内混响时间方法

1) T60 过大。一般家庭听音室普遍存在混响时间过长问题，这是因为墙、天花和地板表面对声波反射能力太强，即室内总吸声量过小，为此可以通过在室内表面敷设强吸音材料来降低混响时间，使 T60 适宜。

2) 吸声系数定义。墙体表面材料的吸声系数定义是：吸声系数 = (入射声能 - 反射声能) / 入射声能，单位是%，其值在 0 ~ 1 之间，数值越小说明吸声能力越差，其值越大则吸声能力越强。如某材料的吸声系数为 0.58%，说明有 38% 的入射声能被该材料所吸收，产生反射的声量为 62%。

3) 吸声材料。坚实、光滑墙面对声波具有接近全反射的能力，所以它的吸声系数基本为 0。开着的大门或窗门若其尺寸足够的大（大小入射声波的波长），对入射声波具有强烈的吸声作用，几乎有去无回，所以它的吸声系数接近于 1。多孔型材料构成的墙面，对声波也有很强吸收能力。

#### 6. 多孔型吸声材料的吸声能力

同一种吸声材料，当它的表面形状等不同时，其吸声能力也不同。

1) 多孔型吸声材料需孔孔相通。对多孔型吸声材料而言，孔洞要对外开，且孔孔之间通气、气深入内部才能有很好的吸声效果。当声波入射这种形式的多孔型材料后，声波能顺着微孔进入材料内部，引起空隙中空气振动，因空气的粘滞阻力、空气与孔壁的摩擦和热传导作用，使相当部分的声能转化成热而消耗。



#### 重要提示

对于多孔型吸声材料，其内部孔洞之间必须相通，如果只是表面有许多孔，如供包装使用的白色轻质发泡塑料，虽有许多孔，但孔孔之间不相通，所以其吸声效果很差。

2) 多孔材料的厚度影响。如果吸收低频声波，需较厚的材料，较薄的材料只能吸收高频声波。在厚度不变时，若加大材料的单位体积重量，也可以提高中低频声波的吸收作用，但没有增加材料的厚度效果好。

3) 多孔材料安装方式的影响。当这种吸声材料离墙面一定距离（留有空气隙）时，其吸声效果最佳，增大留有的空气隙可以增强吸声能力，但间隙大一定程度后其吸声能力不再增强。留有空气隙与填满相同材料具有相近的吸声效果，若多孔材料直接贴在墙体上，对中低频声波的吸声能力有所下降。

当厚度为 2.5cm 的多孔型材料距墙面 10cm 时，对 500 ~ 600Hz 声波有最强吸收能力。

#### 7. 挂帘吸声

挂帘是家庭吸声措施的重要组成部分，它的优点是可通过调整挂帘面积大小，改变吸声特性。

1) 折皱的挂帘对高频影响最大。当将挂帘打上折皱时，对高频声波的吸收能力大大加强，但注意一般情况下对高频声波的吸收不是家庭听音室声学处理的主体。

2) 挂帘与墙之间距离的影响。挂帘与墙面之间的距离对吸收声波也有一定影响，当挂帘距墙面 7.6cm 时，对 1000Hz 声波吸收处于最强状态。

## 8. 室内声学基本要求

1) 听音室的声学特性对称要求。对家庭听音室的声学基本要求是音箱两侧墙面的声学特性对称, 注意是指声学特性对称, 而不是墙体本身的对称。如一侧开有门, 而另一侧的对称位置是光滑的墙面, 此时声学特性上不对称。如果一侧是关闭的玻璃窗, 另一侧是光滑的墙面, 由于玻璃表面与光滑墙体表面有相近的声波反射特性, 所以从声学上讲是对称的。

### 重要提示

为了使室内音箱两侧声学特性尽可能接近, 可以通过吸声材料的布位来调整。如左侧有一扇窗(窗开着), 可在右侧对应位置装饰强吸声材料来补救。

2) 室内墙体和天花板的影响。室内规则的墙体、天花板表面不如无规则的表面更有利于克服室内共振频率的不均匀性。可将天花板做成不规则形状, 或将吸声材料不规则分布在室内。

3) 室内角落的影响。室内的方角不如圆角, 可将顶装饰成圆形状。

## 9. 室吸声材料装饰的主次轻重

1) 首先处理后墙体表面。如图 4-86 所示是室内吸声材料装饰次序示意图, 后墙体要采用强吸声材料, 使之形成弱反射面, 这对重现立体声场的宽度和厚度有益。其次, 处理前场两侧墙体表面, 再处理后场两侧墙体表面, 如图 4-86 所示。

2) 正面墙体表面处理的两种意见。在听音室内, 为了利用早期反射声, 可在音箱背面墙体表面布置强吸声材料, 以便形成反射壁。但也有反对意见, 在音箱的前面装上从顶到地的透声不透光的幕布, 这样可减弱室内有害反射, 同时因看不见音箱, 使听者从心理更易感觉到立体声声像的存在。这样的幕布要比较厚实, 但过厚会对高音造成衰减过多。

## 10. 听音室隔声处理

听音室的一个基本要求是保持室内宁静, 以免外界噪声对室内的影响, 这就要求听音室良好的隔声性能。听音室内的环境噪声最好能低于 30dB (A 计权), 听音室内噪声大就相当于放大器的信噪比低, 可见隔声处理的重要性非同一般。

### 重要提示

用来隔声的材料质地越重越好, 砖墙具有良好的隔声性能, 若将墙体做到双层结构, 中间填满吸声的玻璃棉, 墙再厚些, 隔声性能就相当好了。

将隔声材料和吸声材料同时使用, 其隔声效果就会更好。

室内的窗和门是隔声处理的重点环节。大门最好设一个过道, 称为声阱。窗的玻璃要厚些(最好采用双层窗结构), 并在四围嵌紧橡皮条, 这对重放超低音时防止玻璃的振动非常有效。

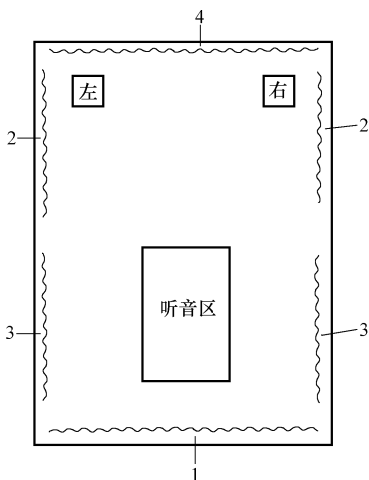


图 4-86 室内吸声材料装饰次序示意图

## ★4.8.4 音箱摆位要素知识点

### 重要提示

无论是双声道的纯音乐系统还是多声道的家庭影院系统, 左、右声道两只主箱的摆位事关重大, 玩音响到家的“烧友”只要将两只主箱位置搬动一番(摆位), 就能让音质、音场更上一层楼, 这正是广大发烧友和音响用家所追求的, 也是玩音响“玄机”之一。





### 1. 长方形房间音箱摆位

长方形房间的音箱摆位共有三种情况，供房间内具体情况供参考。

1) 宽侧面摆位。如图 4-87 所示，将左、右声道主音箱放置在室内宽侧一面，这在长方形房间音箱三种摆位中效果最好，要注意音箱离背侧和侧面各留大于 20cm 的距离。

2) 长侧面摆位。如图 4-88a 所示是居中情况，此时要求  $L_2$  小于等于  $2L_1$ ，由于要求  $L_2$  为 1.5 ~ 2m，所以要求长边有 4m 以上的房间才适合长侧面摆位。图 4-88b 是另一种摆位情况，音箱靠一边，此时右侧墙边最好装饰吸音材料或挂幕布。

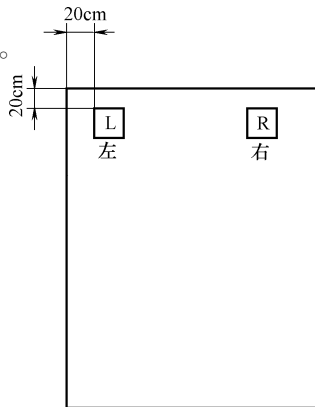


图 4-87 宽侧面摆位示意图

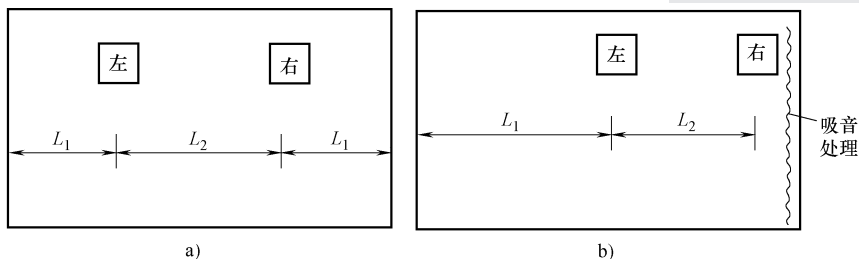


图 4-88 长侧面摆位示意图

### 3. 最佳听音区和最佳音箱摆位

如图 4-90 所示是声学专家推荐的音箱摆位和最佳听音区示意图。图中 A 点与两音箱夹角为  $60^\circ$ ，一般不应小于  $50^\circ$ 。最佳听音点应该是在图中的 A 点，即 A 点与左、右声道音箱两个点构成等腰三角形。

### 4. 左、右音箱间距

左、右音箱间距关系到立体声的声像定位、声场宽度、中间声场强弱等诸多方面。左、右音箱的间距大些，有利提高声像定位准确性，也扩展了声场的宽度，但减弱了中间声场的强度，使声场左侧向右侧过渡出现谷底现象，即所谓的中间声场空的感觉。反之则相反，当左、右音箱间距太小时将会接近单声道的效果。

一般情况下，听音人数不多时，左、右音箱间距可取 1.5 ~ 2m，人数较多时可取 2.5 ~ 3m，此时可以适当提高音量，以加强中间声场。

### 5. 音箱放置高度和角度的影响

音箱的摆放高度对音响效果也有重要影响，尤其对低音和高音影响最大。

1) 音箱指向性概念。如图 4-91 所示是一般音箱水平方向指向性示意图，所谓指向性就是音箱向空间辐射声波强弱的特性，它与声音的频率直接相关。



#### 重要提示

高频的指向性最强，它的声波能量主要集中在正向轴线两侧一宽束范围内，如图 4-91 所示。

中频的指向性也是比较强的，比较明显，其声波能量主要集中在扬声器正向，并且正面轴线上的能量最大。

低频的指向性最差，它基本上是以扬声器为圆心的一个圆，这表示低频声波大小与方向无关，只与距扬声器的距离相关，扬声器的背面、两侧面也有相同大小的低音声波能量，正是由于这一指向性，对音箱的摆位不好会影响到低音的效果。



音箱在垂直方向的指向性基本上同水平方向的指向性一样。

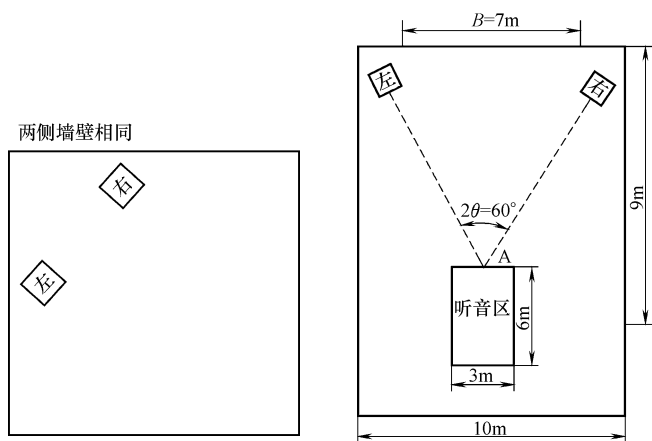


图 4-89 正方形房间音箱摆位示意图

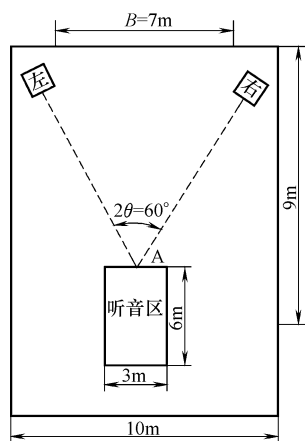


图 4-90 最佳听音区和最佳音箱摆位示意图

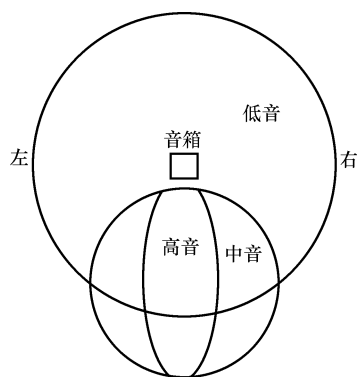


图 4-91 音箱水平方向指向性示意图

2) 音箱最佳放置方案。音箱放置的最佳方案中三个条件：离背墙不小于 20cm 是其一，离侧墙不少于 20cm 是其二，其三是高度条件，音箱的高音单元与听音者双耳齐平，或是音箱的台脚高度大约是低音扬声器口径的 1~2 倍，此时高频、中频和低频能量比较接近、平衡，同时背墙、侧墙和地面对中频和低音的反射适度，低音能量提升适度。

3) 音箱落地放置。这时，由于地面和侧墙对低音能量的大量反射，使低音过强，因房间的驻波效应而产生轰鸣声，影响了整体声场的清晰度，这是许多落地音箱产生低音轰鸣声的重要原因之一。

4) 音箱放置过高和离墙过远。这时，由于地面和侧墙对低音能量的反射大大减弱，会感到低音不足，这也是不可取方案。

### 重要提示

音箱各种放置方案对低音的影响说明下面 5 种情况：

一是将音箱悬挂在室内空中，箱体六面距墙、顶、地面都较远，此时低音反射基本为零，对低音没有提升效果。

二是将音箱置墙角，此时低音被提升的量最大，比第一种情况低音大 18dB (8 倍)，产生轰鸣声不可避免。

三是音箱放入柜子中或置于地柜上，此时低音比第一种情况提高 12dB (4 倍)，此时也会有明显的轰鸣声。

四是将音箱紧贴靠墙放置（侧面离墙一定距离），此时低音比第一种情况也是提升 12dB。

五是将音箱挂在背墙上或是嵌入墙体内，此时对低音有 6dB (1 倍) 提升。

5) 音箱角度影响。可以将左、右主音箱的轴线向里稍转动，如图 4-92 所示，特别当左、右音箱相距较远时，能将中音声场的左、右侧丰满起来，能使处于声场中 A、B 点的声像更加清晰。当听音者距音箱较近时，这种音箱角度的转动也是有益而无害。要注意，两音箱内倾的角度要相同。

### 6. 音箱背面的吸声处理方法

如果由于安装环境的影响，音箱距背、侧面墙较近而产生共鸣声时，可在音箱背面（必要时也在侧面）加强吸声材料，以对背面和侧面低频反射声波进行衰减，通过调整吸声材料的位置、大小、厚度，达到最佳效果。



### 7. 环绕音箱的摆位要求

环绕音箱是放置于听音者后方的音箱，一般要求将环绕音箱放置于听音者后方（靠近后方墙面，但不要贴着后方墙面），距地面约2m。环绕音箱可以直接挂在后方墙面上，也可以放置在专门的环绕音箱架上。

### 8. 中置音箱的摆位要求

中置音箱要求是防磁的音箱，专门的中置音箱都是防磁音箱，将中置音箱放置在彩色电视机的上面或下面，位置居中，距电视机屏面稍后一些，以便听觉声像和图像视觉处于同一平面。

### 9. 前方效果音箱的摆位要求

前方效果音箱放置于听音者的前方，比左、右声道音箱更远一些的地方，距地面约2m。前方效果音箱一般就直接挂于前面的墙面上。

### 10. 超低音音箱的摆位

超低音音箱的摆位相对立体声左、右声道音箱和环绕音箱相言，较为随便，这一音箱的位置对立体声声像的定位影响不大，这是因为低音的方向性不强原因。但是，这并不意味着超低音音箱的摆位对其他音响效果没有影响，应该讲超低音音箱的摆位主要影响听音室内的超低音声压特性，根据室内驻波或共振特性的不同，超低音音箱的摆位也有所不同。

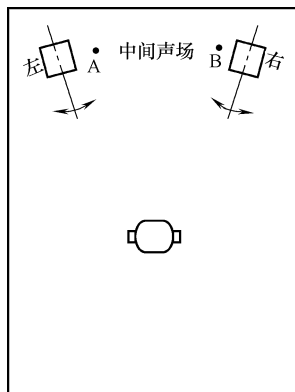


图 4-92 音箱转角示意图



#### 重要提示

当超低音音箱的摆位不当时，会出现听音室内较大的超低音峰谷现象，即某一位置超低音声压强，而另一位置超低音的声压弱，通过调整超低音音箱的摆位可以避免上述现象的出现，一般情况下超低音音箱不应该放置于室内声学对称位置上。

## 4.9 电源及负载知识点“集中营”

### ★4.9.1 电源知识点

#### 1. 电源

电源是能够产生电能的装置，能将其他形式能量转换成电能的装置称为电源。例如，常用的电池就是一种电源，如图4-93所示是万用表 $R \times 1k$ 挡所用的层叠电池。

电池是直流电源中的一种，电池是一种通过化学作用产生电源的装置。发电厂是通过火力或者水力、核能等方式产生电能的。



#### 重要提示

电源可以将电能转换成其他形式的能量，电路就是通过消耗电能来实现某些特定的功能的。电源电路是电子线路中必不可少的电路。

能够产生直流电压的电源称为直流电源，如电池；能够产生交流电压的电源称为交流电源。

#### 2. 电源电动势

电源电动势是衡量电源转换电能能力的物理量，它的大小等于外力将单位正电荷从电源负极经电源内部移动到正极所做的功。

电源电动势用 $E$ 表示，其单位是伏特（V），如图4-94所示。

#### 3. 电源端电压

电动势的形成使正电荷移动到电源的正极，负电荷移动到电源的负极，这样形成了电场，使电

源的正、负极呈现不同的电位。

电源端电压等于电源正、负极之间的电位差，如图 4-95 所示。



图 4-93 层叠电池

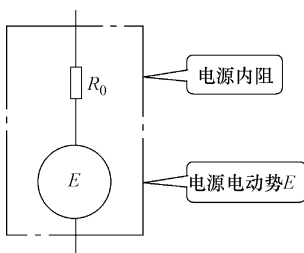


图 4-94 示意图



图 4-95 示意图

#### 4. 电源内电流和外电流

电流流动的电路是由电源的外电路和电源的内电路两部分组成的。外电路中的电流为流过电阻  $R_1$  的电流  $I_R$ ，内电路中的电流为流过电源  $E_1$  的电流  $I_E$ 。流过电源的电流  $I_E$  等于外电路电流  $I_R$ ，如图 4-96 所示。

从电路图中可以看出，电流通过电源的内外电路构成回路。

#### 5. 恒压源

所谓恒压源就是当电源的输出电流大小改变时，电源的输出电压恒定不变。

1) 恒压源特性曲线。如图 4-97 所示是恒压源电路符号和特性曲线。



#### 重要提示

从理想的恒压源特性曲线中可以看出，当输出电流在大小变化时，输出电压大小保持恒定不变。

当电源的内阻为零时，电源就是一个恒压源。

2) 恒压源内阻特性。如图 4-98 所示是电压源等效电路， $R_0$  是电源的内阻， $R_0$  与  $E$  串联。从电路中可以看出，当内阻  $R_0$  越小时，在内阻  $R_0$  上的压降越小，对电源的输出电压影响越小。

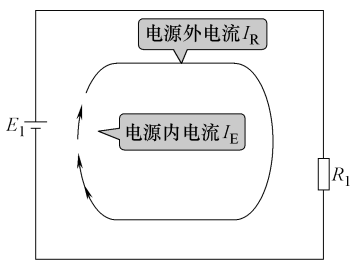


图 4-96 示意图

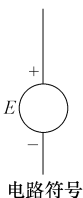


图 4-97 恒压源电路符号和特性曲线

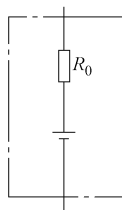
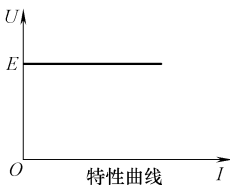


图 4-98 电压源等效电路



#### 重要提示

当电源的内阻  $R_0$  小到为零时，就是恒压源。电源的内阻不可能为零，所以恒压源是一个理想情况的电源，当电源的内阻越小时，电源的恒压输出特性越好。

#### 6. 恒流源

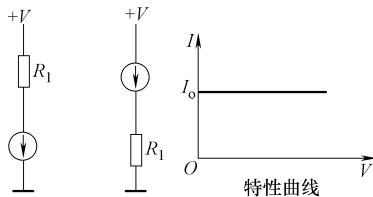
所谓恒流源就是当电源的输出电压大小在改变时，电源的输出电流不随电压变化而变化。

1) 恒流源特性曲线。如图 4-99 所示是恒流源的电路符号和电压—电流特性曲线。特性曲线是



一条水平直线，这是一个理想的恒流源特性曲线。它表明电压大小改变时，电流源输出电流  $I_0$  大小不变化。

2) 恒流源内阻特性。如图 4-100 所示是电流源等效电路， $R_0$  是电源的内阻， $R_0$  与电流源并联。从电路中可以看出，当内阻  $R_0$  越大时，内阻  $R_0$  对电流源的分流影响越小，对电源的输出电流影响越小。当内阻  $R_0$  大到无穷大时，就是恒流源。



表示方式

图 4-99 恒流源电路符号和电压—电流特性曲线



### 重要提示

电源内阻不可能为无穷，所以恒流源也是一个理想情况的电源，当电源的内阻越大时，电源的恒流输出特性越好。

### 7. 电动势和电压比较

1) 电动势和电压的单位相同，都是伏特。

2) 电动势和电压的物理意义是不同的，电动势表示了外力（非电场力）做功的能力，而电压表示电场做功的能力。

3) 电动势和电压方向如图 4-101 所示。

电动势有方向，并且与电压方向相反；电动势方向是电位升高的方向。

电压方向是电位降低的方向。

4) 电动势只存在于电源的内部，而电压存在于电源的两端，并且存在于电源外部电路中。

例如，如图 4-102 所示，电阻  $R_1$  两端存在电压，外电路中的每一个元器件两端都存在电压。

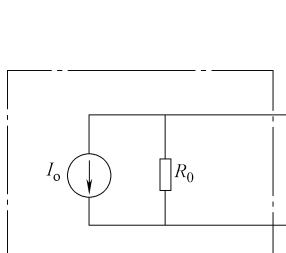


图 4-100 电流源等效电路

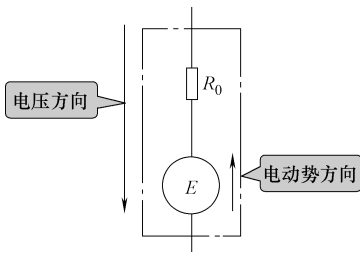


图 4-101 示意图

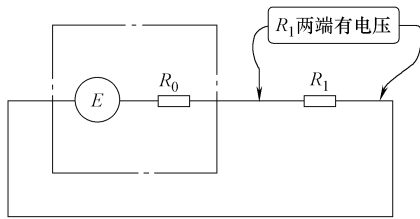


图 4-102 示意图

5) 如图 4-103 所示，电流在电源的外部电路中（称为外电路），是从高电位流向低电位的，这是电场力在做功。在电源的内部（称为内电路），电流从低电位流向高电位，这是外力在做功。

6) 电源如同一个“电荷泵”，将电源负极端的电荷提升到正极，使电源正极端电位高于负极端的电位，使外电路中有电流的流动。流有电流的电路是由外电路和内电路组成的。

7) 当电源两端不接负载时，电源端电压在数值上等于电源电动势，如图 4-104 所示。

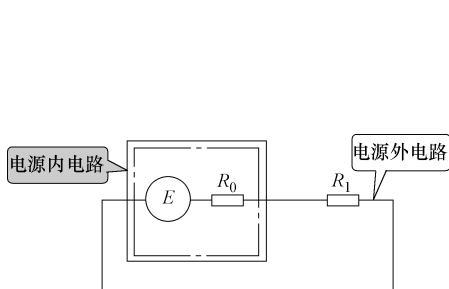


图 4-103 示意图

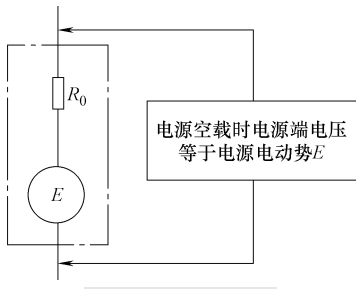


图 4-104 示意图

### 重要提示

电源空载时，电源中没有电流，在电源内阻  $R_0$  上没有电压，所以电源端电压等于电源电动势。电源内部存在一个内阻，通常情况下希望电源内阻越小越好。

8) 当电源两端接上负载后，如图 4-105 所示，电路中的各电压之间关系是

$$E = UR_0 + UR_1$$

即电源电动势等于电源内阻两端电压加上负载电阻  $R_1$  两端电压。

### 重要提示

电源内阻越小，电源两端的电压就越大。新电池的内阻小，所以手筒里的灯泡更亮。

## 8. 直流电源串联

直流电源可以进行串联和并联使用。在采用电池供电的电子电器中通常是采用直流电源的串联方式，以提高直流工作电压，因为一节电池的电压通常只有 1.5V。如图 4-106 所示是直流电源串联电路。

电源串联为了提高电源供电电压。

1) 电路中的  $E_1$  和  $E_2$  是电池，它们串联起来。直流电源串联后的总电压等于各直流电源电压之和，即总电压  $E = E_1 + E_2$ 。

2) 图 4-16 右侧所示电路是多个电池串联时的电路符号示意图，图中标出  $1.5V \times 6$ ，说明是 6 节 1.5V 电池串联，所以这一电源串联电路总电压为 9V。

3) 在采用电池供电的电子电器中，由于电池电压比较低，不能符合电子电器整机直流工作电压的需要，所以要采用这种电源串联的方式，得到所需用的直流工作电压。

4) 直流电源串联时，直流电源是有极性的，正确连接方式是一个直流电源的正极与另一个直流电源的负极相连接，若接错，不仅没有正常的直流电压输出，还会短路电源，造成电源的短路故障，损坏电源。

5) 为了获得更高的直流工作电压可以采用直流电源串联电路。如果两个直流电源的直流工作电压大小不同，也可以进行串联。

### 重要提示

流过各个串联电源的电流相等，串联电源所能提供的最大额定电流等于串联电源中额定电流最小的那个电流值。

## 9. 直流电源并联

电源并联是为了提高电源为外电路供给电流的能力。

如图 4-107 所示是直流电源并联电路。电路中的  $E_1$  和  $E_2$  是电池，这两个电池的直流电压大小相等。直流电源并联后的总电压等于某一个直流电源的电压。

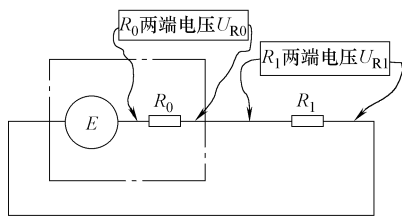


图 4-105 示意图

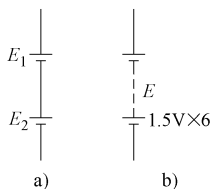


图 4-106 直流电源串联电路

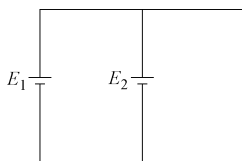


图 4-107 直流电源并联电路

直流电源的并联电路应用比较少，当电池的容量不足时，即电池所能输出的直流电流不能满足电路需要时，采用电池并联供电电路。





- 1) 直流电源并联时, 直流电源也是有极性的, 正确连接方式是一个直流电源的正极接另一个直流电源的正极, 它们的负极相连接起来。
- 2) 直流电源并联电路能够增加电源的输出电流, 不能增大电源的直流工作电压。
- 3) 流过各并联电池的电流之和等于电源外电路电流之和, 如图 4-108 所示。
- 4) 不同直流电压大小的电池之间不能进行并联, 否则直流电压高的电池会对直流电压低的电池进行充电, 消耗了直流电压高的电池的电能。

#### 10. 电源内阻

在电源的内部存在一个电阻, 这一电阻称为电源的内阻。电源的内阻对电源的工作是不利的, 所以希望电源的内阻越小越好。

如图 4-109 所示, 电路中的虚线框内是整个电源装置,  $E$  是电源的电动势,  $R_0$  是电源的内阻, 内阻存在于电源的内部。 $R_1$  是电源外电路中的电阻器,  $I$  是流过这一电路的电流。



#### 重要提示

由于电源存在内阻  $R_0$ , 使电源的端电压不等于电源的电动势, 因为有一部分电压降在了电源内阻  $R_0$  上。

从电路中可以看出, 电流  $I$  流过了电阻  $R_1$  和内阻  $R_0$ , 在内阻  $R_0$  上的电压降为  $U_0$ , 在  $R_0$  上的电压降极性为下正上负, 如图所示, 这是在电源内部的电压降。在电阻  $R_1$  上的电压是  $U_1$ , 其电压极性为上正下负, 如图所示, 该电压也是这一电路中的电源端电压。

### ★4.9.2 负载知识点

#### 1. 电源负载

如图 4-110 所示电路中, 小电珠  $EL_1$  通过开关  $S_1$  接在电源  $E_1$  两端, 小电珠  $EL_1$  是电源  $E_1$  的负载。

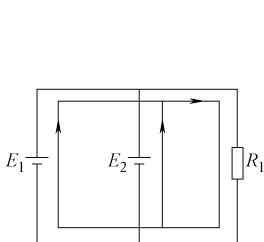


图 4-108 示意图

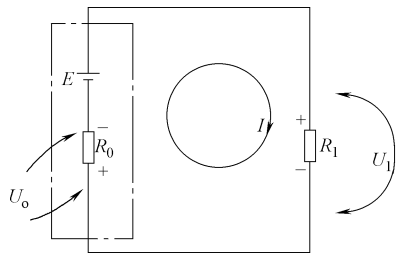


图 4-109 示意图

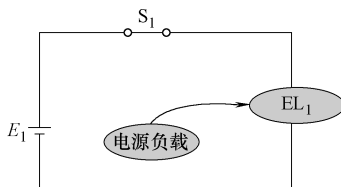


图 4-110 示意图



#### 重要提示

电源是为负载服务的, 这个电路中电源就是为了给  $DX_1$  供电, 使之发光。

#### 2. 放大器负载

电路中, 负载可以是一个具体的元器件, 也可以是一个电路, 不只是电源有负载, 像放大器这样的电路也可以有负载。如图 4-111 所示是放大器负载示意图, 这一电路中, 扬声器  $BL_1$  是功率放大器的负载, 功率放大器是为扬声器  $BL_1$  服务的, 它输出的信号要驱动扬声器发出声音。

#### 3. 信号源负载

如图 4-112 所示是信号源负载电路示意图。这一电路中, 第一级放大器是信号源的负载, 信号源输出的信号要加到第一级放大器中进行放大, 这是某一个电路作为负载的情况。

#### 4. 前级放大器负载

如图 4-113 所示是前级放大器负载示意图。电路中, 第二级放大器是第一级放大器的负载, 在

多级放大器电路中，后面一级放大器都是前面一级放大器的负载。

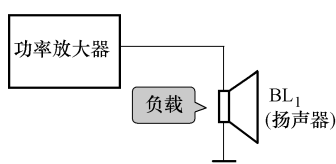


图 4-111 放大器负载示意图

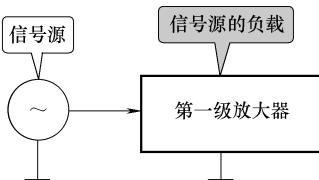


图 4-112 信号源负载

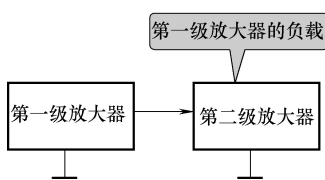


图 4-113 前级放大器负载

## 4.10 放大器指标知识点“集中营”

### ★4.10.1 放大器种类知识点



#### 重要提示

放大器的种类、名称、功能繁多，能够放大电信号的都统称为放大器。下面按照名称对一些使用频率很高的放大器进行初步说明。

#### 1. 音频放大器

音频放大器是用来放大音频信号的放大器。音频放大器是一种最常见的放大器，在各种音响设备电路中有着广泛应用。

#### 2. 电压放大器

电压放大器是指专用于放大信号电压的放大器。例如，在音频放大器中就用到电压放大器，用来放大音频信号的电压；在视频放大器中也会用到电压放大器，用来放大视频信号的电压。

#### 3. 功率放大器

功率放大器是用来放大信号功率的放大器。例如，音响设备中的音频功率放大器是一种十分常见的功率放大器，它放大音频信号功率；用来放大高频信号功率的放大器称为高频功率放大器。

#### 4. 负反馈放大器

负反馈放大器是一种十分常用的放大器。放大器中采用了一种称为负反馈的电路后，这种放大器就可以称为负反馈放大器。由于一般的放大器中加入各种形式的负反馈电路，所以常见的放大器都可以作为负反馈放大器。

#### 5. 集成电路放大器

当放大器被做成集成电路的形式时，称为集成电路放大器，集成电路放大器广泛应用于各种电子电路中，所以这种放大器到处可见。例如，集成电路音频电压放大器、集成电路音频功率放大器等。

#### 6. 直流放大器

直流放大器是用来放大直流信号的放大器，这种放大器还可以用来放大一些频率很低的交流信号，当然也可以放大一些频率很高的信号。

#### 7. 视频放大器

视频放大器是用来放大视频信号的放大器，例如电视机中的视频放大器。视频放大器用于视频设备中，由于视频信号的频率比音频信号的频率高得多，所以视频放大器的工作频率远比音频放大器工作频率高。

#### 8. 中频放大器

中频放大器用来放大中频信号。这里的中频是指信号频率的相对高低，也是指一个放大系统中的信号频率。



### 9. 高频放大器

高频放大器用来放大高频信号。当高频放大器所放大信号的频率高到一定程度时，对放大器的设计等要求发生了一些相应变化，以适应高频信号的放大。

### 10. 选频放大器

选频放大器是用来从众多频率信号中选取某一个（某一很狭窄频段内）频率信号，并进行放大的放大器，例如前面介绍的中频放大器就是这种放大器，它只放大中频信号，对高于和低于中频频率的信号不放大。

### 11. 脉冲放大器

脉冲放大器是放大脉冲信号的放大器。



#### 重要提示

还有许多种放大器，例如对数放大器、均衡放大器、差分放大器、数字放大器、AGC 放大器等。

## ★4.10.2 放大器放大倍数知识点

### 1. 放大器电压放大倍数

放大倍数是表征放大器对信号放大能力的一个重要参数。

放大器电压放大倍数表示对信号电压的放大能力。

放大器电压放大倍数的定义是：

$$A_v = \frac{U_o}{U_i}$$

式中， $A_v$  为放大器的电压放大倍数； $U_o$  为放大器的输出信号电压； $U_i$  为放大器的输入信号电压。

当采用上述公式计算放大器的电压放大倍数时，单位为倍。

当放大器的电压放大倍数用 dB 表示时（常说成是放大器的电压增益），由下列公式来计算：

$$A_v = 20 \lg \frac{U_o}{U_i}$$



#### 重要提示

放大器的放大倍数单位有下列两种表示方式：放大了多少倍，这种表示方式的单位为倍；用增益表示，单位是分贝（用 dB 表示）。

### 2. 放大器电流放大倍数

它用来表示对信号电流的放大能力。

放大器电流放大倍数的定义为：

$$A_i = \frac{I_o}{I_i}$$

式中， $A_i$  为放大器的电流放大倍数； $I_o$  为放大器的输出信号电流； $I_i$  为放大器的输入信号电流。

当采用上述公式计算放大器的电流放大倍数时，单位为倍。

当放大器的电流放大倍数用 dB 表示时（常说成是放大器的电流增益），由下列公式来计算：

$$A_i = 20 \lg \frac{I_o}{I_i}$$

### 3. 功率放大倍数

它用来表示对信号功率的放大能力。

放大器功率放大倍数的定义为

$$A_p = \frac{P_o}{P_i}$$

式中,  $A_p$  为放大器的功率放大倍数;  $P_o$  为放大器的输出信号功率;  $P_i$  为放大器的输入信号功率。

当采用上述公式计算放大器的功率放大倍数时, 单位为倍。

当放大器的功率放大倍数用 dB 表示时 (常说成是放大器的功率增益), 由下列公式来计算:

$$A_p = 10 \lg \frac{P_o}{P_i}$$

#### 4. 多级放大器放大倍数

多级放大器中, 各单级放大器的放大倍数用放大多少倍表示时, 总的放大倍数为各单级放大器的放大倍数之积; 各单级放大器用增益表示时, 总增益为各单级放大器增益之和, 单位仍然为 dB。

对于电压、电流和功率放大倍数的计算方法相同。

例如: 有个三级放大器, 各级放大器的电压放大倍数均为放大 100 倍, 则这个三级放大器总的电压放大倍数为  $100 \times 100 \times 100$  倍。

例如: 某三级放大器, 级放大器的电压增益为 20dB, 则这个三级放大器总的增益为  $20\text{dB} + 20\text{dB} + 20\text{dB} = 60\text{dB}$ 。

### ★4.10.3 放大器频率特性知识点

#### 1. 放大器幅频特性

频率响应是放大器的另一个重要指标, 频率响应又称频率特性, 它有幅频特性和相频特性两种。

放大器的频率响应用来表征放大器对各种频率信号放大能力、放大特性。



#### 重要提示

频率响应具有多项具体的指标, 不同用途的放大器, 对这项指标的要求不同。

如图 4-114 所示是幅频特性曲线。图中,  $X$  轴方向为信号的频率,  $Y$  轴方向为放大器的增益。关于这一放大器幅频特性曲线主要说明下列几点:

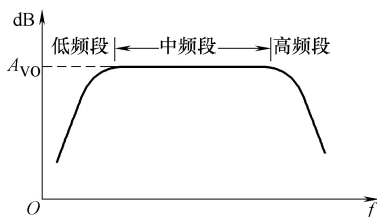


图 4-114 幅频特性曲线

在曲线的中间部分 (中频段) 增益比较大而且比较平坦。

曲线的右侧 (高频段) 随频率的升高而下降, 这说明当信号频率高到一定程度时, 放大器的增益下降, 而且频率越高放大器的增益越小。

曲线的左侧 (低频段) 随频率的降低而下降, 这说明当信号频率低到一定程度时, 放大器的增益开始下降, 而且频率越低增益越小。



#### 重要提示

放大器的中频段幅频特性比较好, 低频段和高频段的幅频特性都比较差, 且频率越高或越低, 幅频特性越差。

#### 2. 放大器通频带

由于放大器对低频段和高频段信号放大能力低于中频段, 当频率低到或高到一定程度时, 放大器的增益已很小, 放大器对这些低频和高频信号已经不存在有效放大。通过对放大器的工作频率范围做出规定, 用通频带来表明放大器可以放大的信号频率范围。



如图 4-115 所示是放大器通频带示意图, 设放大器对中频段信号的增益为  $A_{v0}$ , 规定当放大器增益下降到只有  $0.707A_{v0}$  (比  $A_{v0}$  下降 3dB) 时, 放大器所对应的两个工作频率分别为下限频率  $f_L$  和上限频率  $f_H$ , 如图所示。

放大器对频率低于  $f_L$  的信号和频率高于  $f_H$  的信号不具备有效放大能力。



#### 重要提示

放大器的通频带等于  $\Delta f = f_H - f_L \approx f_H$ 。通频带又称放大器的频带。可以这样理解放大器的通频带, 某一个放大器只能放大它频带内的信号, 而频带之外的信号放大器不能进行有效的放大。

许多放大器幅频特性曲线在中频段是不平坦的, 有起伏变化, 对此有相应的要求, 即不平坦度为多少 dB, 如图 4-116 所示。

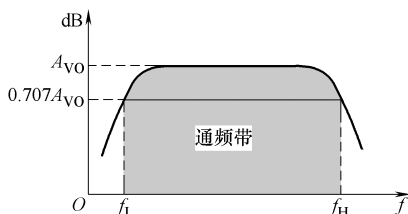


图 4-115 放大器通频带示意图

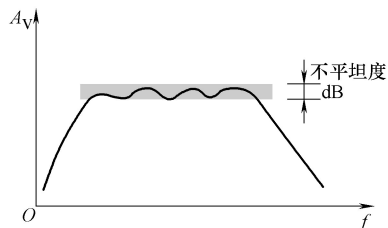


图 4-116 示意图

### 3. 放大器相频特性

放大器的相频特性是用来表征放大器在对不同频率信号放大之后, 对它们相位改变的情况, 即不同频率下的输出信号与输入信号相位变化程度。放大器的相频特性不常用。

如图 4-117 所示是放大器的相频特性曲线。图中,  $X$  轴方向为信号的频率,  $Y$  轴方向为放大器对输出信号相位的改变量。

放大器对中频段信号不存在移相问题, 而对低频和高频信号要产生附加的相移, 而且频率越低或越高, 其相移量越大。

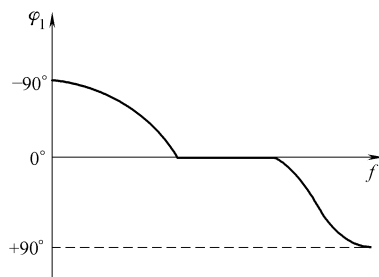


图 4-117 放大器相频特性曲线



#### 重要提示

不同的用途对放大器的相频特性要求不同, 有的要求相移量很小, 有的则可以不作要求。例如, 一般的音频放大器对相频特性没有严格的要求, 而在彩色电视机的色度通道中, 若放大器产生相移, 将影响色彩的正常还原。

## ★4.10.4 放大器失真度知识点

### 1. 放大器幅度失真



#### 重要提示

失真度是放大器的一项重要指示。放大器的失真度用来表征放大器在放大信号过程中, 对信号产生非线性畸变的程度。

放大器通常放大电路的输入信号是多频率信号, 如果放大电路对信号的不同频率分量具有不同的增益幅值或者相对相移发生变化, 就使输出波形发生失真, 前者称为幅度失真, 后者称为相位失真, 两者统称为频率失真。



如图 4-118 所示是幅度失真示意图,这是放大过程中所需要的失真。

## 2. 放大器相位失真

如图 4-119 所示是相位失真示意图。

### 重要提示

频率失真是由电路的线性电抗元件引起的,故又称线性失真,其特征是输出信号中不产生输入信号中所没有的新的频率分量。

## 3. 放大器非线性失真

非线性失真也称波形失真、非线性畸变。放大器在放大信号时中,放大器对信号产生幅度的失真过程中,还会对信号的变化规律产生改变,这就是放大器的非线性失真,具体表现为放大器输出信号与输入信号不成线性关系,使输出信号中产生新的谐波成分,改变了原信号频谱。如图 4-120 所示是放大器产生非线性失真示意图。

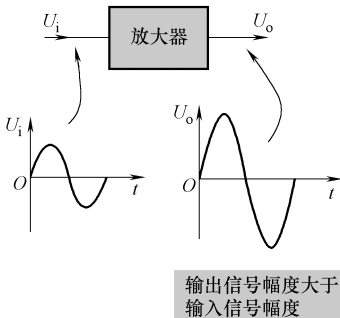


图 4-118 幅度失真示意图

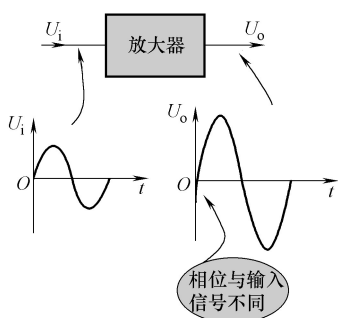


图 4-119 相位失真示意图

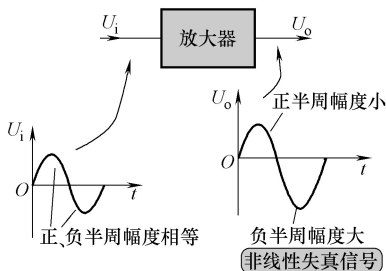


图 4-120 放大器产生非线性失真示意图

### 重要提示

从图中可以看出,输入放大器的是标准正弦信号,它的正半周和负半周幅度大小相等,而从放大器输出的信号已经不是一个标准的正弦信号,负半周信号幅度大于正半周信号的幅度(称这种失真为大小头失真),或是其他形式的失真(如正半周波形被削去一截,称为削顶失真),这就是不需要的失真,称为非线性失真。

## 4. 放大器失真度

失真度又称为失真系数。放大器的失真度有很多种。在不加具体说明的情况下,失真度是指的非线性失真,这也是最常用的失真度指标。

失真度的单位是百分之多少,用%表示。

## 5. 失真信号的频率成分

当一个信号产生了非线性失真之后,这一信号可以用一系列频率不同、幅度大小不同、不失真的正弦信号来合成这一失真的信号。换句话说,某单一频率的失真信号,由于非线性失真而出现了许多新频率的不失真信号。

一个具有非线性失真、频率为  $f_0$  的信号  $U_0$ ,可以用下列公式中的不失真正弦信号来表示:

$$U_0 = A_1 f_0 + A_2 (2f_0) + A_3 (3f_0) + A_4 (4f_0) + \dots$$

式中,  $U_0$  为已产生非线性失真的信号;  $f_0$  为失真信号的频率,  $f_0$  又称为基频;  $2f_0$  为频率是基频信号两倍的不失真正弦信号,又称为  $f_0$  的二次谐波;  $3f_0$  为频率是基频信号三倍的不失真正弦信号,又称为  $f_0$  的三次谐波;  $4f_0$  为频率是基频信号四倍的不失真正弦信号,又称为  $f_0$  的四次谐波;  $A_1$  是



不失真基频信号  $f_0$  的幅度大小； $A_2$  是不失真的  $2f_0$  幅度大小； $A_3$  是不失真的  $3f_0$  幅度大小； $A_4$  是不失真的  $4f_0$  幅度大小。

式中只列出 4 次谐波，其实还有更多次的谐波，一直可到无数次谐波。在各次谐波中，前几次的谐波幅度为最大，是各次谐波中的主要成分。



#### 重要提示

凡是偶数次数的谐波称为偶次谐波，凡是奇数次数的谐称为奇数谐波。音频放大器中，奇次谐波对音质具有破坏性的影响，是非音乐性的，偶次谐波是音乐性的。

### 6. 三次谐波失真度

各次谐波中，三次谐波的危害性最大，所以可用三次谐波失真度来表示放大器的非线性失真程度。

三次谐波失真度可以用下列公式来表示：

$$D_3 = \frac{A_3}{A_1} \times 100\%$$

式中， $D_3$  为三次谐波失真度，单位为%； $A_3$  为三次谐波幅度大小； $A_1$  为基频幅度大小。

### 7. 全谐波失真度

放大器的全谐波失真度等于各次谐波幅度大小的二次方之和再开根号，再与基频信号幅度之比，单位也是%。由于全谐波失真度的测试比较困难，而三次谐波的测试比较方便，所以常用三次谐波失真度。

### 8. 谐波失真大小与放大器输出功率也相关

当输出功率增大时谐波失真也增大，这是显然的，因为输出功率增大时对信号的放大力度加大，同时造成信号的各种畸变也随之加大。

如图 4-121 所示曲线表示了它们之间的关系，可见当输出功率比较大之后，谐波失真明显增大，这也是放大器不可满输出功率运行的原因之一。

### 9. 左、右声道放大器的谐波失真特性有所不同

在双声道放大器中，左、右声道放大器电路结构对称，要求它们的各项技术性能指标一致，但左、右声道放大器的谐波失真大小还是有不同的，如图 4-122 所示，左声道的谐波失真比右声道的大一些。

### 10. 互调失真

互调失真用互调失真系数  $D_M$  表示其失真程度，这一失真又称互调畸变。当给放大器输入两种或两种以上不同频率的信号时，由于放大器非线性作用，在放大器的输出信号中除这两种频率信号之外，还有它们的和频（ $200\text{Hz} + 600\text{Hz} = 800\text{Hz}$ ）和差频（ $600\text{Hz} - 200\text{Hz} = 400\text{Hz}$ ）信号，这两个新频率信号称为互调失真信号。

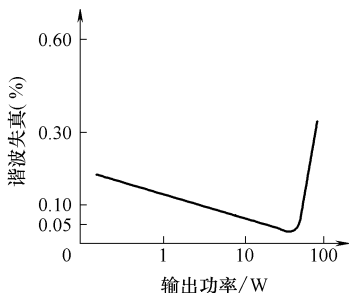


图 4-121 示意图

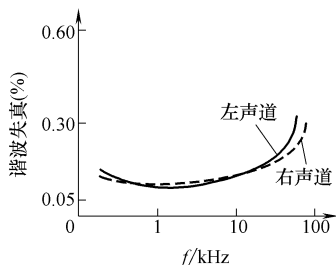


图 4-122 示意图

### 11. 两种削波失真

削波失真在大信号出现时产生，由于大信号的正半周峰值部分会进入放大管的饱和区，同时信

号的负半周进入截止区（对推动管而言，甲乙类功放管不存在负半周信号的削顶），使大信号的正、负半周的顶部被削去一截。

在晶体放大器中，这种削波失真是硬削波，即信号峰值部分被整齐地消去，如图 4-123 所示。此时会产生大量的奇次谐波，而奇次谐波是非音乐性的，所以会严重损害音质，使声音模糊且抖动。

#### 重要提示

电子管放大器中，削波失真是软失真，即削顶部分呈圆弧状，此时产生的谐波是偶次性的多，而偶次性谐波是音乐性的，对音质破坏程度远低于奇次性谐波。这也是为什么胆机音质、音色的某些方面比石机更胜一筹的原因。

### 12. 开关失真

这是甲乙放大器所特有的失真。这种放大器中的功放管工作在开关状态下，在放大高频信号时，当功放管的开关速度跟不上高频信号变化时，就会出现相位的滞后，这就是开关失真。

### 13. 瞬态失真

这一失真又称瞬态响应，它表征了放大器对瞬态信号的跟随能力。当给放大器输入一个瞬态信号时，放大器应能够立即响应，否则放大器输出就跟不上瞬态信号，产生所谓的瞬态失真。

测量瞬态响应要采用脉冲信号，如图 4-124 所示瞬态失真示意图，图 4-124a 为输入放大器的标准脉冲测试信号，图 4-124b 所示是经过放大器后已存在瞬态失真的输出信号波形，从图中可看出脉冲前沿顶部变成了圆弧状，这说明放大器的高频响应能力差，如果瞬态响应好这一顶部也是方角。

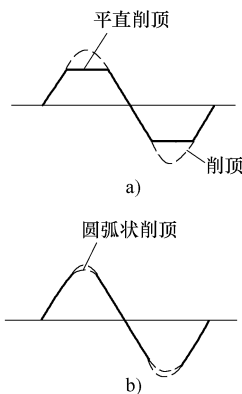


图 4-123 示意图

#### 重要提示

放大器瞬态失真与放大器的频率范围有关，所以频率范围要宽是放大器高品质的基本保证。瞬态失真是放大器的动态性能指标之一。

### 14. 瞬态互调失真

这是现代电声领域中的一个重要技术性能指标。一般功率放大器都是负反馈放大器，且是加入大环路的深度负反馈，为防止负反馈放大器的自激现象，还要设置各种频率补偿电路。

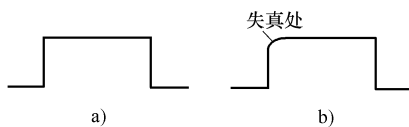


图 4-124 瞬态失真示意图

#### 重要提示

胆机的这一失真远比晶体管放大器低，这也是胆机的长处之一。在许多晶体管放大器中，为了降低瞬态互调失真，不采用大环路的深度负反馈电路，出现了无负反馈的功率放大器电路等。

## ★4.10.5 放大器输出功率知识点

### 1. 放大器输出功率

输出功率对于音频功率放大器而言，是一项重要的指标。对于其他没有功率输出要求的放大器而言，这项指标意义不大。

放大器的输出功率用来表征放大器在规定失真度下，能够输出的最大信号功率。

**重要提示**

音频放大器的输出功率根据所用测试信号种类不同、规定的失真度大小不同,有许多种表示方式,而且各种表示方式之间所得到的输出功率参数相差较大。也就是说,同一个音频功率放大器,输出功率参数可以有多种表示形式,如不失真输出功率、额定输出功率、音乐输出功率和最大音乐输出功率等。

输出功率的单位是 W。一般来说,放大器的输出功率越大越好。

由于对功率放大器输出功率的测量方法不同,输出功率的标注又有多种方式。

**2. 有效输出功率**

这是采用 1000Hz 连续、稳定的正弦波信号作为测试信号,测量出负载  $R_L$  上的有效电压值,再通过公式  $P = U_2^2/R_L$  计算得到的输出功率,这属于静态指标。英语缩写为 RMS,即 Root Mean Square。

**3. 额定输出功率**

它也采用 1000Hz 的连续、稳定的正弦波信号作为测试信号,当谐波失真达到 10% 时的平均功率称为额定输出功率,或称可用有效输出功率或不失真输出功率。这也是属于静态指标。

**4. 音乐输出功率**

这一功率测量不采用正弦信号,而是用模拟音乐或语言信号或脉冲信号作为测试信号,所以音乐输出功率 (Music Power Output, MPO) 能够反映出爆棚性输出功率的能力,并反映功率放大器动态输出功率的情况。这是一种输出功率的动态技术指标。

**5. 峰值音乐输出功率**

峰值音乐输出功率 (PMPO) 又称最大音乐输出功率。它的测量信号基本上与音乐输出功率测试情况相同,它是在不计失真的情况下,放大器所能输出的最大音乐功率。这也是一种输出功率的动态技术指标。

**重要提示**

上述几种输出功率的表示方式中,对同一台功率放大器而言其值也不同,峰值音乐输出功率最大,其次是音乐输出功率,再是额定输出功率,最小的是有效输出功率,一般来讲峰值输出功率可为有效输出功率的 5~8 倍,所以在选择功率放大器时要注意采用的是何种标识方式。

**★4.10.6 放大器其他特性知识点****1. 动态范围**

放大器的动态范围是指,放大器在保证足够大信噪比情况下输出的最小信号,与规定失真度情况下最大输出信号之间的范围。

影响放大器动态范围的因素是噪声大小和输出功率大小。放大器的动态范围单位是 dB,这一范围越大越好。

**2. 放大器信噪比**

放大器信噪比是一项重要指标,它用来表征放大器输出信号受其他无用信号干扰的程度。信噪比的单位是 dB。

信噪比等于信号大小与噪声大小之比,信号用  $S$  表示,噪声用  $N$  表示,信噪比用  $S/N$  表示。放大器的信噪比越大越好。

许多情况下,避开信噪比只谈噪声的大小是没有意义的。例如,有两个输出功率分别为 200W 和 2W 的放大器,输出功率为 200W 放大器输出噪声肯定比输出功率为 2W 的大,但是不能说 200W 放大器使用时的噪声性能没有 2W 的好。所以,用信噪比来说明更加科学。



重要提示

在听音实践中有一个体会，当一个很响的声音和一个很弱的声音同时存在时，只能听到响的那个声音存在，那个弱的声音好像不存在，这是掩蔽效应。当那个响的声音消失之后，便能听到弱的声音存在。

3. 放大器噪声电平  $N$

对于功率放大器而言，就是信噪比很高噪声也会很大。这是因为输出信号电压很大时的噪声电压同样也很大了，当没有输入信号时这一噪声（放大器本身的噪声）会从音箱中出现，令人讨厌。所以一些档次高的功率放大器在标出信噪比指标的同时，标出了噪声电平指标。

对功率放大器而言标出噪声电平比信噪比更恰当，噪声电平  $N$  (dB) 由下式决定：

$$N = 20 \lg \frac{U_N}{775}$$

式中， $N$  为噪声电平，单位为 dB； $U_N$  为功率放大器输出的噪声电压的有效值，单位为 mV；775 为参考电压，单位为 mV。

噪声电压  $N$  值越小，说明功率放大器的噪声输出越小。

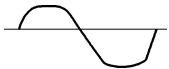


重要提示

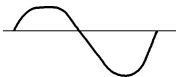
信噪比是一个相对值，是信号电压与噪声电压之比，而噪声电平是一个相对于 0.775V 电压的绝对值，这两个技术指标都与噪声大小有关，但是两个不同的概念。噪声电平低的放大器，在没有输入信号时的输出噪声很小，使整个音响系统像没开机一般安静。

★4.10.7 放大器常见 11 种非线性失真波形知识点

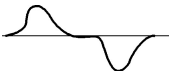
1. 纯阻性负载上截止、饱和失真

| 失真名称 | 纯阻性负载上截止、饱和失真                                                                                                                                           |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 失真波形 |                                                                      |
| 说明   | 这是非故障性的波形失真,可适当减小输入信号,使输出波形刚好不失真,再测此时的输出信号电压,然后计算输出功率,若计算结果基本上达到或接近机器的不失真输出功率指标,可以认为这不是故障,而是输入信号太大了<br>当计算结果表明是放大器电路的输出功率不足时,要查失真原因,可用寻迹法查出故障出在哪级放大器电路中 |
| 处理方法 | 更换晶体管、提高放大器电路的直流工作电压等                                                                                                                                   |

2. 削顶失真

| 失真名称 | 削顶失真                                                                                |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 失真波形 |  |
| 说明   | 这是推动晶体管的静态直流工作电流没有调好,或某只放大管静态工作点不恰当                                                 |
| 处理方法 | 在监视失真波形的情况下,调整晶体管的静态工作电流                                                            |

3. 交越失真

| 失真名称 | 交越失真                                                                                |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 失真波形 |  |
| 说明   | 它出现在推挽放大器电路中                                                                        |
| 处理方法 | 加大推挽晶体管静态直流工作电流                                                                     |

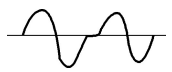




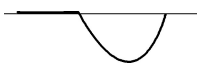
4. 梯形失真

|      |                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 失真名称 | 梯 形 失 真                                                                           |
| 失真波形 |  |
| 说明   | 它是某级放大器电路耦合电容太大,或某只晶体管直流工作电流不正常造成的                                                |
| 处理方法 | 减小级间耦合电容,减小晶体管静态直流工作电流                                                            |

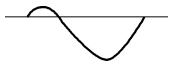
5. 阻塞失真

|      |                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 失真名称 | 阻 塞 失 真                                                                           |
| 失真波形 |  |
| 说明   | 它是电路中的某个元器件失效、相碰、晶体管特性不良所造成                                                       |
| 处理方法 | 用代替法、直观法查出具体故障的晶体管                                                                |

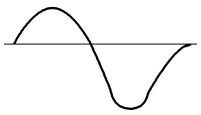
6. 半波失真

|      |                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 失真名称 | 半 波 失 真                                                                           |
| 失真波形 |  |
| 说明   | 它是推挽放大器电路中有一只晶体管开路了。当某级放大器中的晶体管没有直流偏置电流而输入信号较大时,也会出现类似失真,同时信号波形的前沿和后沿还有类似交越失真的特征  |
| 处理方法 | 用电流检查法检查各级放大器电路中的晶体管直流工作电流                                                        |

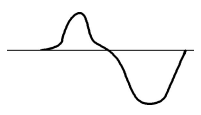
7. 大小头失真

|      |                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 失真名称 | 大 小 头 失 真                                                                           |
| 失真波形 |  |
| 说明   | 这种失真或是上半周幅度大,或是下半周幅度大                                                               |
| 处理方法 | 用代替法检查各晶体管,用电流检查法检查各晶体管的直流工作电流                                                      |

8. 非线性非对称失真

|      |                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 失真名称 | 非线性非对称失真                                                                            |
| 失真波形 |  |
| 说明   | 这是多级放大器失真重叠造成的故障                                                                    |
| 处理方法 | 用示波器检查各级放大器的输出信号波形                                                                  |

9. 非线性对称失真

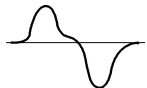
|      |                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 失真名称 | 非线性对称失真                                                                             |
| 失真波形 |  |
| 说明   | 这是推挽放大器晶体管静态直流工作电流不正常造成的                                                            |
| 处理方法 | 减小推挽放大器晶体管的静态直流工作电流                                                                 |



10. 另一种非线性对称失真

|      |                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 失真名称 | 另一种非线性对称失真                                                                        |
| 失真波形 |  |
| 说明   | 这是推挽放大器电路两只晶体管直流偏置电流一个大一个小所造成的                                                    |
| 处理方法 | 使推挽放大器电路两只晶体管直流偏置电流大小一样                                                           |

11. 波形畸变

|      |                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 失真名称 | 波形畸变                                                                              |
| 失真波形 |  |
| 说明   | 扬声器故障                                                                             |
| 处理方法 | 更换扬声器                                                                             |

★4. 10.8 放大器常见 9 种噪声波形知识点

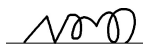
1. 高频噪声

|      |                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 噪声名称 | 高 频 噪 声                                                                           |
| 噪声波形 |  |
| 说明   | 这一波形特点是在最大提升高音、最大衰减低音后,噪声输出大且幅度整齐,噪声输出大小受音量和高音电位器的控制                              |
| 处理方法 | 用短路检查法检查前级放大器的电路噪声                                                                |

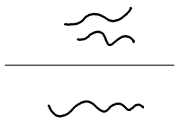
2. 另一种高频噪声

|      |                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 噪声名称 | 另一种高频噪声                                                                             |
| 噪声波形 |  |
| 说明   | 这一波形特征是不受音量、高音控制器的控制                                                                |
| 处理方法 | 用电流法检查推挽放大器电路中晶体管静态直流工作电流,减小电流                                                      |

3. 低频噪声

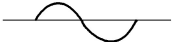
|      |                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 噪声名称 | 低 频 噪 声                                                                             |
| 噪声波形 |  |
| 说明   | 这一波形特点是受音量电位器控制                                                                     |
| 处理方法 | 更换电动机一试                                                                             |

4. 杂乱噪声

|      |                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 噪声名称 | 杂 乱 噪 声                                                                             |
| 噪声波形 |  |
| 说明   | 这一波形特征是受音量电位器控制,关死高音控制器后以低频噪声为主,出现了更加清晰的低频杂乱状噪声波形                                   |
| 处理方法 | 用短路检查法检查前级放大管,更换晶体管                                                                 |



5. 交流声

|      |                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 噪声名称 | 交 流 声                                                                             |
| 噪声波形 |  |
| 说明   | 这一波形特征是不受音量电位器控制,或受的影响较小                                                          |
| 处理方法 | 检查整流、滤波电路,加大滤波电容                                                                  |

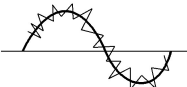
6. 低频调制

|      |                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 噪声名称 | 低 频 调 制                                                                           |
| 噪声波形 |  |
| 说明   | 这一波形特征是波形在示波器上滚动,不能稳定,这是不稳定的低频调制                                                  |
| 处理方法 | 检查退耦电容,减小电源变压器漏感,晶体管的工作不稳定                                                        |

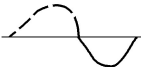
7. 交流调制

|      |                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 噪声名称 | 交 流 调 制                                                                           |
| 噪声波形 |  |
| 说明   | 这一波形特征是用电池供电时无此情况                                                                 |
| 处理方法 | 检查电源内阻大原因,加大滤波电容                                                                  |

8. 高频寄生调制

|      |                                                                                    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 噪声名称 | 高频寄生调制                                                                             |
| 噪声波形 |  |
| 说明   | 这是叠加在音频信号上的高频干扰波形,表现为高频噪声“骑”在音频信号上                                                 |
| 处理方法 | 用电流检查法检查各级晶体管的静态直流工作电流,特别是末级晶体管。另外,可以采用高频负反馈来抑制寄生调制                                |

9. 另一种高频寄生调制

|      |                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 噪声名称 | 另一种高频寄生调制                                                                           |
| 噪声波形 |  |
| 说明   | 这种波形表现在音频信号上出现亮点,并中断信号的连续                                                           |
| 处理方法 | 用电流检查法检查各级晶体管的静态直流工作电流,特别是末级晶体管。另外,可以采用高频负反馈来抑制寄生调制                                 |

4.11 电磁学基础知识点 “集中营”



重要提示

电和磁是不可分割的统一体，有电就有磁，有磁就有电。无线电中经常用到电磁学中的概念，还有许多电与磁的换能器件。

### ★4.11.1 磁场与磁力线知识点

#### 1. 磁性

能够吸引铁等物质的性质称为磁性。

#### 2. 磁体

具有磁性的物体叫磁体，最常见的扬声器其背面的磁钢就是磁体。

#### 3. 磁极

磁铁两端磁性最强的区域称为磁极。一个磁铁有两个磁极：一个是南极，用 S 表示；另一个是北极，用 N 表示。当一块磁铁分割成几块后，每一小块磁铁上都有一个 S 极和一个 N 极，如图 4-125 所示，也就是说 S、N 极总是成对出现的。

#### 4. 磁力

磁极间有相互作用力，这一力称为磁力。同极性之间相斥，异极性之间相吸。

#### 5. 磁场

磁场和电场一样是一种特殊的物质，它看不见也摸不着，但的确存在。磁体周围存在的磁力作用的空间称为磁场，互不接触两个磁体之间相互作用的力是由磁场传递的。

#### 6. 磁力线

关于磁力线要说明以下几点：

- 1) 磁力线有时还称为磁感线或磁通线。
- 2) 磁力线是闭合的。
- 3) 磁力线有方向，规定在磁体的外部，磁力线由 N 极指向 S 极，在磁体内部则是由 S 极指向 N 极，如图 4-126 所示。
- 4) 磁力线的方向可以用来表示磁场方向。
- 5) 在磁极附近磁力线最密，表示磁场最强，在磁体中间磁力线最稀，表示磁场最弱。用磁力线的多少来表征磁场的强弱。

#### 7. 直导线电流磁场

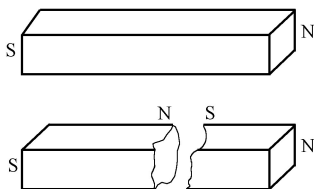


图 4-125 磁极示意图

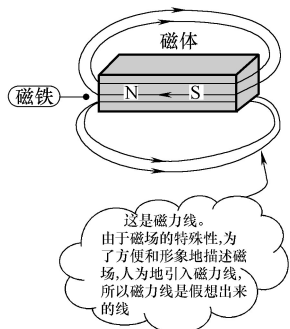


图 4-126 磁力线示意图

#### 重要提示

电流周围存在磁场。磁场总是伴随着电流而存在，电流永远被磁场所包围。

一根直的导线，当导线中流有电流时，在导线的周围存在磁场，判断这一磁场方向用右手螺旋定则，具体方法是：如图 4-127 所示，让右手握住直的导线，并将大拇指指向电流流动的方向，四指所指的方向就是磁场方向。

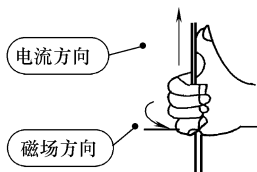


图 4-127 直导线电流磁场示意图

#### 8. 环形电流磁场

将导线绕成环形（称为螺线管或线圈），并给线圈通电，此时的磁场方向也是用右手螺旋定则来判断，方法是：如图 4-128 所示，右手握住螺线管，让四指指向线圈中的电流流动方向，大拇指所指方向为磁场方向。

### ★4.11.2 磁通、磁感应强度、磁导率和磁场强度知识点

#### 1. 磁通

磁通是磁通量的简称。通过与磁场方向垂直的某一面积上的磁力线总数，称为磁通。磁通用  $\phi$



表示。当面积一定时，垂直通过该面积的磁力线越多，说明磁场越强，反之则弱。

## 2. 磁感应强度

垂直通过单位面积上的磁力线数，称为磁感应强度，可见磁场强度能够表示磁场的强弱。磁感应强度用  $B$  表示。关于磁感应强度还要说明以下几点：

- 1) 磁感应强度也称为磁通密度。
- 2) 磁感应强度是一个矢量，它不仅表示了磁场中某点的磁场大小，也表示了该点的磁场方向。磁力线上某点的切线方向就是该点的磁感应强度方向。
- 3) 磁场中各点的磁感应强度大小和方向相同时，这种磁场称为均匀磁场。

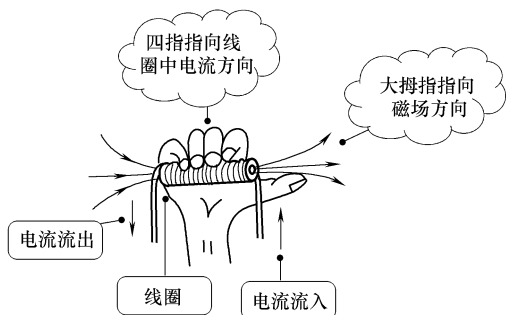


图 4-128 环形电流磁场示意图

## 3. 磁导率

为了表征物质的导磁性能，引入磁导率这个物理量，磁导率用  $\mu$  表示。

由实验测得真空中的磁导率（用  $\mu_0$  表示）为一个常数。

为了比较物质的导磁性能，将任一物质的磁导率与真空中磁导率的比值作为相对磁导率，用  $\mu_r$  表示。



### 重要提示

根据物质的磁导率不同，可将物质划分成下列三类：

- $\mu_r < 1$  的物质叫反磁物质，如铜。
- $\mu_r > 1$  的物质叫顺磁物质，如锡。
- $\mu_r \gg 1$  的物质叫铁磁物质，如铁、钴。

## 4. 磁场强度

磁场强度的定义是：磁场中某点磁感应强度与介质的磁导率的比值，叫该点的磁场强度。磁场强度用  $H$  表示。

磁场强度也是一个矢量，在均匀磁场中它的方向同磁感应强度的方向相同。

## ★4.11.3 磁化、磁性材料和磁路知识点

### 1. 磁化

凡是对原来没有磁性的物质使之具有磁性的过程称为磁化。凡是铁磁物质都能被磁化。

### 2. 磁性材料

磁材料通常可以划分成 3 类：

- 1) 软磁材料。这种铁磁材料在磁化后，保留磁性的能力很差。
- 2) 硬磁材料。这种铁磁材料在磁化后，保留磁性的能力很强。
- 3) 矩磁材料。这种铁磁材料只要有很小的磁场就能磁化，且一经磁化就达到饱和状态。

### 3. 磁路

磁通（或磁力线）集中通过的路径称为磁路，类似于电路的概念。如图 4-129 所示是磁路示意图。

关于磁路说明以下几点：

- 1) 为了获得较强的磁场，需要将磁通集中在磁路中。形成磁路的最好方法是用铁磁材料做成磁心，线圈绕在磁心上。
- 2) 由于铁磁材料制成的磁心其磁导率  $\mu$  远大于空气的磁导率，所以磁通主要是沿磁心闭合，



只有很少部分通过空气或其他材料。

3) 通过磁心的磁通称为主磁通, 磁心外的磁通称为漏磁通, 漏磁通越小越好。

4) 磁路按其结构不同分为无分支磁路和分支磁路两种, 其中分支磁路又分成不对称分支磁路 and 对称分支磁路两种, 这相当于电路中的并联电路。

5) 磁路不同于电路, 电路可以有开路状态, 可磁路没有开路状态, 因为磁力线是不可能中断的闭合曲线。

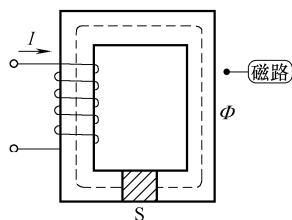


图 4-129 磁路示意图

#### ★4.11.4 电磁感应知识点

##### 1. 电磁感应

电能够产生磁, 电磁感应说明了磁也能够产生电。

如图 4-130 所示是电磁感应现象示意图。当磁铁从上端向下插入时, 会在线圈两端得到一个感应电动势, 其极性为上正下负。如果磁铁在线圈中静止不动, 则没有这一电动势。当磁铁从下向上插入时, 感应电动势的方向为下正上负。

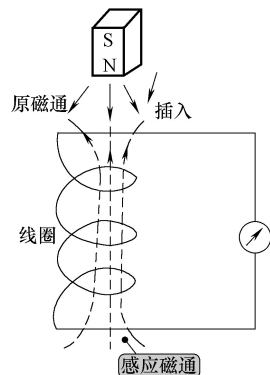


图 4-130 电磁感应现象示意图

##### 重要提示

关于电磁感应主要说明以下几点:

- 1) 感应电动势又称感生电动势、感应电势、感生电势。
- 2) 产生电磁感应的条件是线圈中的磁通必须改变。当磁铁从上或从下插入线圈时都有感应电动势产生, 这是因为磁铁运动引起了线圈中的磁通发生了改变。当磁铁在线圈中不运动时, 没有感应电动势的产生, 因为磁铁不运动, 线圈中的磁通没有改变。
- 3) 当线圈闭合时, 由感应电动势产生的电流称为感应电流或感生电流。

##### 2. 电磁感应定律

感应电动势的大小与穿过线圈磁通的变化率成正比, 这称为法拉第电磁感应定律。当磁铁插入线圈中的速度越快, 磁通变化率越高, 感应电动势越大, 反之则越小。这一定律只能说明感应电动势的大小, 不能说明感应电动势的方向。

#### ★4.11.5 自感、互感和同名端知识点

##### 1. 自感

由于流过线圈本身的电流发生变化而引起的电磁感应叫自感应, 简称自感。

如图 4-131 所示电路可以说明自感现象。电路中的  $E$  是电源,  $EL$  是小电灯,  $L_1$  是线圈 (线圈的电阻很小, 远小于小电灯的电阻),  $S_1$  是开关。

当开关  $S_1$  刚接通时, 由于  $L_1$  的电阻远小于小电灯的电阻, 所以电流只流过  $L_1$  所在支路, 没有电流流过小电灯, 这样小电灯不亮。但是, 当开关  $S_1$  突然断开时, 小电灯却突然很亮后熄灭, 这一现象称为自感现象。

这一现象是因为开关断开时,  $L_1$  中的磁通突然从有突变到零, 这时  $L_1$  两端要产生感应电动势, 这一感应电动势加在小电灯的两端, 使小电灯突然很亮。

##### 重要提示

对于自感说明以下几点:



- 1) 由自感产生的电动势称为自感电动势, 简称自感电势。
- 2) 自感电动势与线圈本身的电感量成正比关系。线圈电感量是线圈的固有参数, 电感量用  $L$  表示,  $L$  与线圈匝数和结构等情况有关。
- 3) 自感电动势还与线圈中电流的变化率成正比关系, 当  $L$  一定时, 电流变化越快, 自感电动势越大, 反之则小。
- 4) 对某一个具体线圈而言,  $L$  的大小反映了线圈产生自感电动势的能力。
- 5) 自感系数定义是: 当一个线圈流过变化的电流时, 电流产生的磁场使每匝线圈具有的磁通叫自感磁通, 整个线圈具有的磁通称为自感磁链, 将线圈中通过单位电流所产生的自感磁链称为自感系数。

## 2. 互感

如图 4-132 所示是互感现象示意图。图中有线圈  $L_1$  和线圈  $L_2$ , 其中在线圈  $L_1$  回路中接入电池  $E$  和开关  $S_1$ , 在线圈  $L_2$  回路中接入检流计。

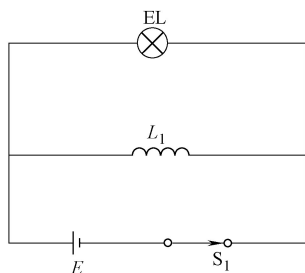


图 4-131 自感现象

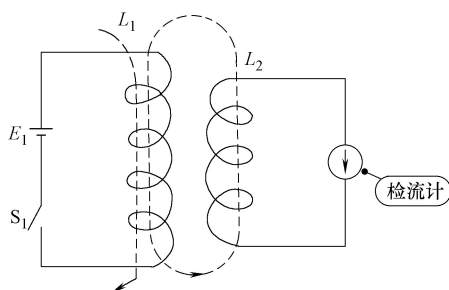


图 4-132 互感现象示意图

当开关接通后, 检流计指针偏转一下后又停止, 检流计的指针偏转说明有电流流过了线圈  $L_2$ 。开关  $S_1$  接通后, 线圈  $L_1$  中的电流从无到有, 在线圈  $L_1$  中产生了变化的磁通, 这一变化的磁通穿过了线圈  $L_2$ 。由于线圈  $L_2$  中存在变化的磁通, 所以在线圈  $L_2$  两端要产生感应电动势, 便有感应电流。当开关接通一段时间后, 由于是直流电源, 线圈  $L_1$  中的电流大小不变, 其磁通也不再变化, 线圈  $L_2$  中没有变化的磁通就不能产生感应电动势, 所以检流计的指针不再偏转。一个线圈中的电流变化, 引起另一个线圈中产生感应电动势的现象称为互感现象, 简称互感。



### 重要提示

关于互感说明以下几点:

- 1) 互感现象说明线圈  $L_1$  和线圈  $L_2$  之间存在磁耦合, 又称为互感耦合。
- 2) 为了定量表征互感耦合情况, 引入了互感系数这个量, 互感系数用  $M$  表示。它的大小等于一个线圈中通过单位电流时, 在另一个线圈中产生的互感磁链。互感  $M$  表征了磁交链的能力。
- 3) 线圈间具有的互感系数  $M$  是互感线圈的固有参数, 它的大小与两个线圈的匝数、相互间位置、几何尺寸等因素有关。
- 4) 由互感所产生的电动势称为互感电动势, 简称互感电势。当两个线圈确定后, 一个线圈上互感电动势的大小正比于另一个线圈中的电流变化率。
- 5) 互感电动势不仅有大小还有方向, 这一电动势的方向可以用同名端方法来确定。

## 3. 互感线圈同名端

如图 4-133 所示是同名端示意图, 将线圈绕向一致且感应电动势极性一致的端点称为同名端。如图 4-133a 所示, 线圈  $L_1$  和线圈  $L_2$  同绕在一个铁心上, 从图中可以看出, 1 端和 4 端是两线圈的头, 且两线圈的绕向相同, 所以是同名端, 电动势的极性一致。2、3 端也是同名端, 1、2 端之间

极性相反,称为异名端。

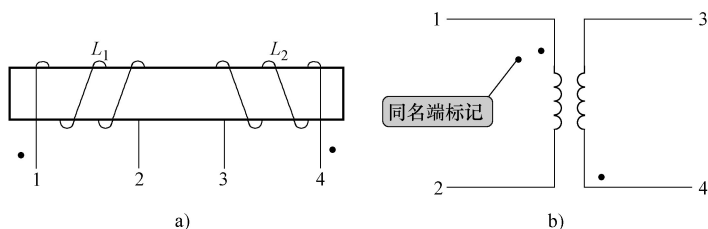


图 4-133 同名端示意图

同名端常用黑点表示,标有黑点的端是同名端,在电路图中的表示方式如图 4-133b 所示。

#### ★4.11.6 屏蔽知识

##### 1. 屏蔽

给变压器的一次线圈通入交流电后,在线圈周围产生了磁场,尽管铁心使绝大部分磁力线构成了磁路,但是仍有一小部分磁力线散布在变压器附近的一定空间范围内。

如果变压器散发的这些残余磁力线穿过变压器附近的其他线圈(或电路),在其他线圈中也要产生感生电动势,这便是磁干扰,是不允许的。为此,要给变压器加上屏蔽壳,使变压器中的磁场不向外辐射。

##### 2. 低频屏蔽

变压器的屏蔽壳不仅可以防止变压器干扰其他电路的正常工作,同时也可以防止其他散射磁场对变压器正常工作的干扰。

在低频变压器中,采用铁磁材料制成一个屏蔽盒(如铁皮盒),将变压器包起来。由于铁磁材料的磁导率高,磁阻小,所以变压器产生的磁力线由屏蔽壳构成回路,防止了磁力线穿出屏蔽壳,使壳外的磁场大大减小。

同理,外界的杂散磁力线也被屏蔽壳所阻挡,不能穿到壳内来。

##### 3. 高频屏蔽

在高频变压器中,由于铁磁材料的磁介质损耗大,所以不用铁磁材料作为屏蔽壳,而是采用电阻很小的铝、铜材料制成。当高频磁力线穿过屏蔽壳时,产生了感生电动势,此电动势又被屏蔽壳所短路(屏蔽壳电阻很小),产生涡流,此涡流又产生反向磁力线去抵消穿过屏蔽壳的磁力线,使屏蔽壳外的磁场大大减小,达到屏蔽的目的。

#### 新技术综述

##### 1. 突破光子回路技术有望取代集成电路

传统微电子技术的特点是依靠集成电子器件提供更高的信息处理速度、存储密度和片上可集成度等能力,但受到纳米尺寸的瓶颈限制,集成电子器件已开始受到制约。与微电子技术发展并行的另一门高新技术——光电子技术,在实现集成光子回路、互联光路、光计算等功能方面显现出巨大的潜力和优势,有可能是取代“集成电路”的新一代信息技术的重要支柱,该技术的关键点是如何在纳米尺寸高度集成的芯片上实现人们像操纵电子那样操控光子。

电子产品的芯片运行速度越快,集成度越高,能耗就越大,机体也容易发热。以“光子芯片”取代传统的“电子芯片”未来有广泛的应用前景。一方面,“光子芯片”对于降低能耗、减少污染有很大帮助;另一方面,由于光子传播速度远远超出电子,也会满足用户对于电子产品运行速度、



待机时间等方面的需求。

## 2. 量子反常霍尔效应

由中国科学院物理研究所和清华大学物理系的科研人员组成的联合攻关团队，经过数年不懈探索和艰苦攻关，最近成功实现了“量子反常霍尔效应”。

由于人们有可能利用量子霍尔效应发展新一代低能耗晶体管和电子学器件，这将克服电脑的发热和能量耗散问题，从而有可能推动信息技术的进步。然而，普通量子霍尔效应的产生需要用到非常强的磁场，因此应用起来将非常昂贵和困难。但量子反常霍尔效应的好处在于不需要任何外加磁场，这项研究成果将推动新一代低能耗晶体管和电子学器件的发展，可能加速推进信息技术革命进程。

美国科学家霍尔分别于1879年和1880年发现霍尔效应和反常霍尔效应。1980年，德国科学家冯·克利青发现整数量子霍尔效应，1982年，美国科学家崔琦和施特默发现分数量子霍尔效应，这两项成果分别于1985年和1998年获得诺贝尔物理学奖。

## 3. 量子通信

量子通信是利用了光子（光的最小单位）等粒子的“量子纠缠”原理。量子信息学告诉人们，在微观世界里，不论两个粒子间距离多远，一个粒子的变化都会影响另一个粒子，这一现象被称作是“量子纠缠”，且被爱因斯坦称为“诡异的互动性”。科学家认为，这是一种“神奇的力量”，可发展为具有超级计算能力的量子计算机和量子保密系统的基础。

2012年3月，合肥城域量子通信试验示范网建成开通，合肥城域量子通信网络共有46个节点、40组用户使用这种“量子电话”。

量子电话使用的是数字信号，通过加密将变得更安全，使用速度也更快。比如在2兆的带宽下，传输1GB的文件需要7min，但使用这个网络则能快3000多倍。

## 4. 把电影院搬回家

“把电影院搬回家”是历代电视机厂商们最喜欢用的一句广告词，现在，它真的要实现了，不过东家变成了电影巨头IMAX。

IMAX公司近日宣布，他们已经推出了真正的IMAX私人家庭影院系统。它是一整套的解决方案，包括4K投影机、IMAX自家的7.1声道多媒体影音系统、以及完整的、专门优化过的室内影院设计，比起你自己搭建的所谓“家庭影院”，这个解决方案要完整和科学得多，影院内每个座位的摆放都是经过精密计算的。

## 5. 充电神器 20s 完成手机充电

超快速充电器实际上是一个“超级电容器”，能在20s之内充进与普通手机电池相当的电量。

除了充电时间超快之外，这款充电器的充电次数也非常惊人，达到了1万次，是普通充电器的10倍。

## 6. 3D 打印技术

以一个手电筒为例，3D打印机能通过电脑将手电筒进行立体扫描，创建三维设计图，之后对这个立体原型进行“切片”，分成一层一层的，之后，打印机就将原材料按照设计图一层一层地“喷”上去，直到最终造出一个手电筒来，只不过3D打印机喷出的不是墨粉，而是融化的树脂、金属或者陶瓷等材料。

传统数控制造主要是“去除型”，即在原材料基础上，使用切割、磨削、腐蚀、熔融等办法，去除多余部分，得到零部件，再以拼装、焊接等方法组合成最终产品，而3D打印则颠覆了这一观念，无需原胚和模具，就能直接根据计算机图形数据，通过一层层增加材料的方法直接造出任何形状的物体，这不仅缩短产品研制周期、简化产品的制造程序，提高效率，而且大大降低了成本，因此被称为“增材制造”。

## 7. 4D 打印机

4D打印机就是在3D打印的基础上增加时间元素，它首次是在洛杉矶举行的《科技、娱乐、



设计 (TED) 大会》由麻省理工学院自我组装实验室的科学家斯凯拉·蒂比茨对这款产品进行了展示。在展示过程中，一根复合材料在水中完成了自动变形。据介绍，这根复合材料由 3D 打印机“打印”，所使用的原材料为一根塑料和一层能够吸水的“智能”材料。蒂比茨称：“打印过程并不是新鲜的东西，但关键是打印出来后发生的变化。”

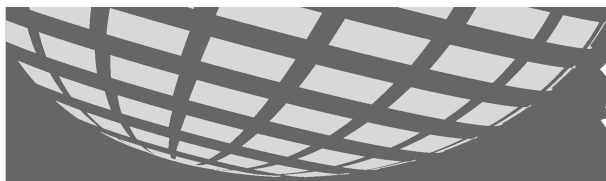
阅读完成时间：\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日，用时\_\_\_\_\_天。

签 名：\_\_\_\_\_

阅读体会：（请写 10 个收获最大的知识点关键词）

阅读困惑：（请写 10 个最难理解的知识点关键词）





# 第 5 章

## 百种元器件种类和电路符号快速查询平台

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！

本章阅读建议：快速阅读，全面了解，学会使用查询平台。

本章难度系数：2 级。

本章记忆系数：5 级。



### 重要提示

在学习和电路设计过程中，需要了解元器件的种类、型号命名方法、结构、等效电路知识点，下面提供一个快速查询平台，供参考。

### 5.1

### 数十种元器件种类查询平台



### 重要提示

了解电阻类元件种类的目的是做到心中有数，电阻类元件有多少，它们的基本情况如何，有利于学好电阻类元件和分析电阻类电路工作原理。同时，也可以为电路设计提供参考。

#### ★5.1.1 电阻类元件种类（见图 5-1）



### 重要提示

普通电阻器为最常用电阻器，精密电阻器的阻值更为精密，熔断电阻器具有过电流保护功能，可变电阻的阻值可在一定范围内改变，电位器的阻值也可改变（与可变电阻器类似），敏感电阻器在受光或磁等影响下阻值也可改变，排阻将一个电阻网络集成于一体。

#### ★5.1.2 贴片电阻器种类

贴片电阻器分为以下几大类：

- 1) 常规系列厚膜贴片电阻。
- 2) 高精度高稳定性贴片电阻。
- 3) 常规系列薄膜贴片电阻。

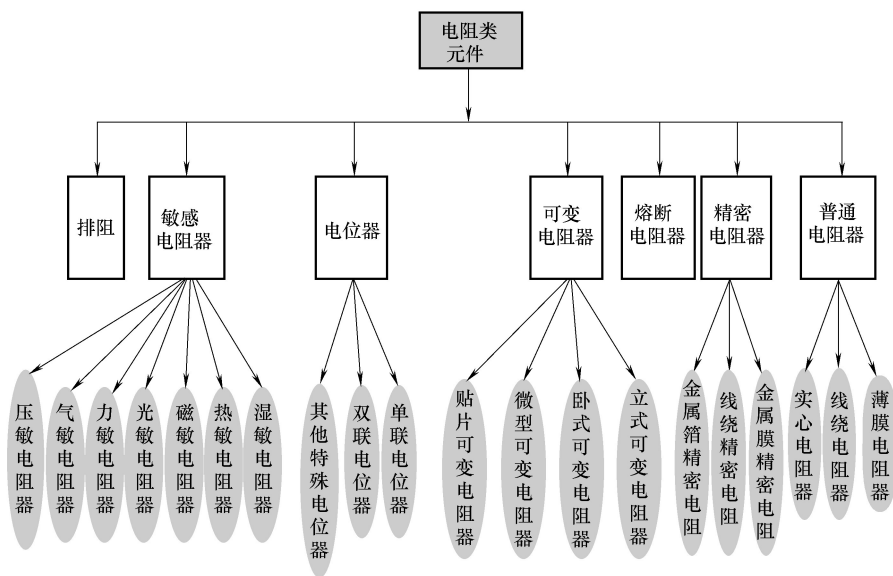


图 5-1 电阻类元件种类

- 4) 低阻值贴片电阻。
- 5) 贴片电阻阵列。
- 6) 贴片电流传感器。
- 7) 贴片网络电阻器。

### ★5.1.3 热敏电阻器种类

#### 1. 按温度系数划分

按温度系数热敏电阻器可分为正温度系数（Positive Temperature Coefficient, PTC）和负温度系数（Negative Temperature Coefficient, NTC）两大类。

正温度系数热敏电阻器的阻值随着温度升高而增大，负温度系数热敏电阻器的阻值随着温度升高而降低。

正温度系数热敏电阻器还分为突变型（或称为阶跃型）及缓变型（线性）PTC 热敏电阻器。其中突变型又细分两类：一是陶瓷 PTC 热敏电阻器（CPTC），二是有机高分子 PTC 热敏电阻器（PPTC）。

目前应用最广泛的是负温度系数热敏电阻器，其又可分为测温型、稳压型、普通型 NTC 热敏电阻器。

#### 2. 按电阻率随温度变化特性划分

根据热敏电阻器电阻率随温度变化的特性不同，热敏电阻器可分为两种类型：一是 PTC 和 NTC 的缓变型，二是突变型热敏电阻器，即 CTR 热敏电阻器。

#### 3. 按工作温度范围划分

按工作温度范围分类有常温、高温、超低温热敏电阻器。

#### 4. 按其受热方式划分

按其受热方式的不同可分为直热式热敏电阻器和旁热式热敏电阻器。



#### 重要提示

热敏电阻器的标称值是指环境温度为 25℃ 时的阻值。



### ★5.1.4 光敏电阻器种类

#### 1. 按制作材料划分

光敏电阻器按其制作材料的不同可分为多晶光敏电阻器和单晶光敏电阻器，还可分为硫化镉（CdS）光敏电阻器、硒化镉（CdSe）光敏电阻器、硫化铅（PbS）光敏电阻器、硒化铅（PbSe）光敏电阻器、锑化铟（InSb）光敏电阻器等多种。

#### 2. 按其光谱特性划分

光敏电阻器按其光谱特性可分为可见光光敏电阻器、紫外光光敏电阻器和红外光光敏电阻器。

可见光光敏电阻器主要用于各种光电自动控制系统、电子照相机和光报警器等电子产品中。具体讲，光敏电阻器可广泛应用于光控夜灯、照相机、监控器、光控玩具、声光控开关、摄像头、光控音乐盒、人体感应开关等电子产品的光自动控制领域。

紫外光光敏电阻器主要用于紫外线探测仪器。

红外光光敏电阻器主要用于天文、军事等领域的有关自动控制系统中。

### ★5.1.5 湿敏电阻器种类

湿敏电阻器根据感湿层使用的材料或配方不同可分为正电阻湿度特性（即湿度增大时电阻值增大）和负电阻湿度特性（湿度增大时电阻值减小）两种湿敏电阻器。

具体地划分，湿敏电阻器主要有氯化锂湿敏电阻器、碳湿敏电阻器和氧化物湿敏电阻器。氯化锂湿敏电阻器随湿度上升而电阻减小，缺点为测试范围小、特性重复性不好、受温度影响大。碳湿敏电阻器的缺点为低温灵敏度低、阻值受温度影响大、易老化。

氧化物湿敏电阻由氧化锡、镍铁酸盐等材料制成，性能较优越，可长期使用，温度影响小，阻值与湿度变化呈线性关系。

### ★5.1.6 磁敏电阻器种类

磁敏电阻器按引脚数目划分有两根引脚磁敏电阻器（内部只有一只磁敏电阻器）、三根引脚磁敏电阻器（内部有两只串联的磁敏电阻器）和四根引脚磁敏电阻器（双路差分磁敏电阻器）。

### ★5.1.7 气敏电阻器种类

#### 1. 按工作原理分类

气敏元件大体上可分为两种：一种是电阻式，另一种是非电阻式，目前使用的大多为电阻式气敏元件。电阻式气敏元件是用氧化锡、氧化锌等金属氧化物材料制作的，而非电阻式气敏元件则为半导体器件。表 5-1 所示是气敏电阻器分类说明。

表 5-1 气敏电阻器分类

| 分类   |               | 特点             | 工作温度                 | 可测气体        |
|------|---------------|----------------|----------------------|-------------|
| 电阻式  | 表面控制型         | 灵敏度高,响应速度快     | 室温 ~ 450℃            | 可燃性气体       |
|      | 体控制型          | 高、低温条件下的稳定性均较好 | 300 ~ 450℃ 或 700℃ 以上 | 可燃性气体、氧气、酒精 |
| 非电阻式 | 气敏二极管         | —              | 室温 ~ 200℃            | 氧气、一氧化碳、酒精  |
|      | 氢敏 MOS 场效应晶体管 | —              | 150℃                 | 氢气、硫化氢      |

#### 2. 根据气敏电阻器检测气体不同分类

气敏电阻器按照检测气体不同分类，可分为 N 型气敏电阻器和 P 型气敏电阻器。

N 型气敏电阻器在检测到甲烷、一氧化碳、天然气、煤气、液化石油气、乙炔、氢气等气体时其阻值减小。

P 型气敏电阻器在检测到可燃气体时阻值将增大，而在检测到氧气、氯气及二氧化碳等气体时



其阻值将减小。

3. 国产的气敏元件有两种

- 1) 直热式。加热丝和测量电极一同烧结在金属氧化物半导体管芯内。
- 2) 旁热式。这种气敏元件以陶瓷管为基底，管内穿加热丝，管外侧有两个测量极，测量极之间为金属氧化物气敏材料，经高温烧结而成。

★5.1.8 排阻种类

排阻按引脚排列形式划分有单列直插式封装（SIP）和双列直插式封装（DIP）两种外形结构，此外还有贴片式排阻，它的内部电阻器的排列又有多种电路形式。

★5.1.9 可变电阻器和电位器种类

1. 可变电阻器种类

可变电阻器按制作材料可分为膜式可变电阻器和线绕式可变电阻器；按结构形式可分为立式可变电阻器和卧式可变电阻器。

2. 电位器种类（见表 5-2）

表 5-2 电位器种类说明

| 划分方法及种类   |              | 说 明                                                                |
|-----------|--------------|--------------------------------------------------------------------|
| 按操纵形式划分   | 旋转式(或转柄式)电位器 | 电位器中有一个阻值调节转柄,左、右旋转电位器的这一转柄可以改变阻值                                  |
|           | 直滑式电位器       | 这种电位器的操纵柄不是旋转动作,而是在一定范围内作直线滑动来改变电阻值。直滑式电位器由于操作形式不同,要求有较大的安装和操作空间   |
| 按联数来划分    | 单联电位器        | 这种电位器的操纵柄只能控制一个电位器的阻值变化,电路中广泛应用的是这种电位器                             |
|           | 双联电位器        | 这种电位器的外形与单联电位器基本一样,但它有两个单联电位器,用一个操纵柄同步控制这两个电位器的阻值变化,这种电位器主要用于音响电路中 |
| 按有无开关划分   | 无开关的电位器      | 这种电位器中不带开关,电路中大量使用这种电位器                                            |
|           | 有开关的电位器      | 除电位器作用外,它还附有一只开关。这种电位器常用做音量电位器,其附设的开关作为电源开关                        |
| 按输出函数特性划分 | 线性电位器        | 用 X 型表示,X 型电位器用于音响设备中,作立体声平衡控制电位器                                  |
|           | 对数式电位器       | 用 D 型表示,这种电位器用来构成音调控制器等电路,这是一种十分常用的电位器                             |
|           | 指数式电位器       | 用 Z 型表示,这种电位器构成音量控制器等电路                                            |
|           | 特殊型电位器       | 例如音响设备中专用的 S 型电位器                                                  |
| 按调节精度划分   | 普通电位器        | 这种电位器的调节精度比较低,用于一些对调整精度要求不高的电路中,这是一种用得最多的电位器                       |
|           | 精密电位器        | 这种电位器的调节精度比较高,用于一些对调整精度要求高的电路中,如仪表电路,常见电路中一般不使用这种电位器               |

★5.1.10 熔断电阻器种类

熔断电阻器按其工作方式可分为可修复型和不可修复型。

1. 可修复型熔断电阻器

它是用低熔点焊料焊接一根弹性金属片上，当负载过大、温度过高时，低熔点焊料的焊点就会熔化，弹性金属片便会自动脱开焊点，使电路开路。

2. 不可修复型熔断电阻器

它在通过超负载电流时，便会使电阻膜层或绕阻丝熔断。常见的熔断电阻器外形比普通电阻器略粗、长一些，它的两根引脚不分正、负极性。它的标称阻值较小，只有几欧到 100Ω，采用色标方式。

不可修复型熔断电阻器的工作原理是：当过载引起温度上升并达到某一温度时，涂有熔断料的异电膜层或绕组线匝就自动熔断，使电路断开。

熔断电阻器按其材料又可分为线绕型、碳膜型、金属膜型、氧化膜型和化学淀积膜型等，其中膜式熔断电阻器使用最多。

重要提示

熔断电阻器主要用于直流电源电路和一些需要进行过电流保护的电路中，电路中安装方式和普通电阻器一样。

★5.1.11 电容器种类

电容器的种类很多，分类方法也有多种。图 5-2 所示是电容器类元件“家族”一览。

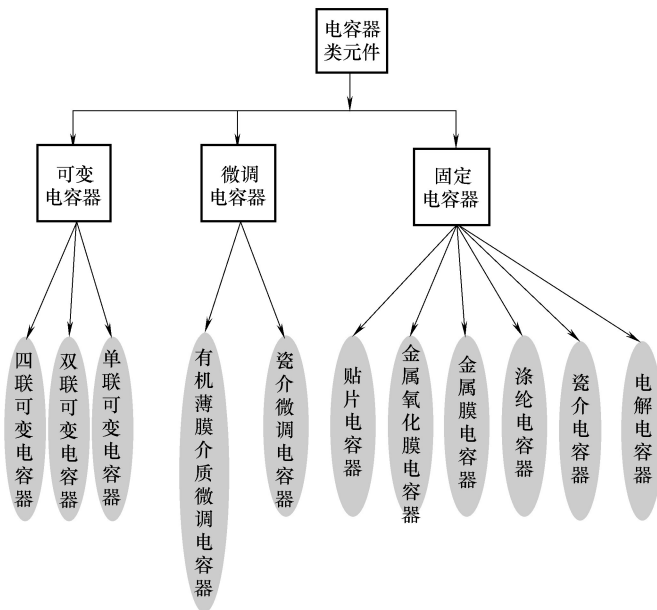


图 5-2 电容器类元件“家族”一览

表 5-3 所示是电子电路中常用电容器种类说明。

表 5-3 电子电路中常用电容器种类说明

| 划分方法       | 种类及说明                           |
|------------|---------------------------------|
| 按电容量是否可变化分 | 固定电容器。电容量固定不变,是用量最多的电容器         |
|            | 可变电容器。它的电容量在一定范围内可以改变,主要用于收音电路中 |
|            | 微调电容器。它的电容量也是可以调节的,但是电容量可调节范围很小 |
| 按电介质划分     | 有机介质电容器                         |
|            | 无机介质电容器                         |
|            | 电解电容器。这是一种常用电容器                 |
|            | 液体介质电容器。如油介质电容器                 |
|            | 气体介质电容器                         |





(续)

| 划分方法    | 种类及说明                                   |                                    |
|---------|-----------------------------------------|------------------------------------|
| 按工作频率划分 | 低频电容器。用于工作频率较低的电路中,如音频电路中               |                                    |
|         | 高频电容器。这种电容器对高频信号的损耗小,用于工作频率高的电路中,如收音电路等 |                                    |
| 按电路功能划分 | 高频旁路电容器                                 | 主要有陶瓷电容器、云母电容器、玻璃膜电容器、涤纶电容器、玻璃釉电容器 |
|         | 低频旁路电容器                                 | 主要有纸介电容器、陶瓷电容器、铝电解电容器、涤纶电容器        |
|         | 滤波电容器                                   | 主要有铝电解电容器、纸介电容器、复合纸介电容器、液体钽电容器     |
|         | 调谐电容器                                   | 主要有陶瓷电容器、云母电容器、玻璃膜电容器、聚苯乙烯电容器      |
|         | 低频耦合电容器                                 | 主要有纸介电容器、陶瓷电容器、铝电解电容器、涤纶电容器、固体钽电容器 |
|         | 高频耦合电容器                                 | 主要有陶瓷电容器、云母电容器、聚苯乙烯电容器             |
|         | 高频抗干扰电容器                                | 主要有高压瓷片电容器(Y 安规电容器和 X 安规电容器)       |
|         | 分频电容器                                   | 主要有铝电解电容器、钽电容器                     |

★5.1.12 电解电容器种类 (见表 5-4)

表 5-4 电解电容器种类

| 分类方法及种类   |            | 说 明                                                                                                                                                                             |
|-----------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 按引脚有无极性划分 | 有极性电容器     | 有极性电解电容器的两根引脚有正、负极之分,这是最常用的电解电容器                                                                                                                                                |
|           | 无极性电容器     | 无极性电解电容器两引脚无极性之分,与普通固定电容器一样,只是电容量更大。无极性电解电容器按照用途划分又有下列几种:<br>(1)普通无极性电解电容器<br>(2)分频电容器,它主要用于扬声器分频电路中<br>(3)S 校正电容器,用于电视机的扫描电路中<br>(4)数字集成电路电源滤波电容                               |
| 按材料划分     | 铝电解电容器     | 铝电解电容器是将附有氧化膜的铝箔(正极)和浸有电解液的衬垫纸,与阴极(负极)箔叠片一起卷绕而成<br>这是用量最多的一种电解电容器,价格低、电容量大,缺点是介质损耗、电容量误差较大,耐高温性较差,存放时间长容易失效                                                                     |
|           | 钽电解电容器     | 钽电解电容器用金属钽(Ta)作为阳极材料而制成,按阳极结构的不同可分为箔式和钽粉烧结式两种。在钽粉烧结式钽电容器中,又因工作电解质不同,分为固体电解质的钽电容器和非固体电解质的钽电容器。其中,固体钽电解电容器用量大,如 CA 型、CA42 型等<br>钽电解电容器广泛应用于通信、航天和军事工业、海底电缆、高级电子装置、民用电器、电视机、手机等多方面 |
|           | 钛电解电容器     | 钛电解电容器用钛金属作为阳极(正极),介质为氧化钛<br>钛电解电容器的性能比钽电解电容器略差些,但优于铝电解电容器和铌电解电容器                                                                                                               |
|           | 钽-钕合金电解电容器 | 钽-钕合金电解电容器的阳极(正极)是用钽-钕合金粉烧结而成,介质为其表面上的氧化膜<br>这种电解电容性能优于铝电解电容器和铌电解电容器,但略差于钽电解电容器                                                                                                 |
|           | 铌电解电容器     | 铌电解电容器的成本应比钽电解电容器低得多。铌电解电容器的性能可以达到或接近钽电解电容器。随着新型导电高分子材料的开发应用,铌电解电容器使用率还可大幅度提高                                                                                                   |
| 按安装形式划分   | 有引脚电解电容器   | 这是最为常见的电解电容器                                                                                                                                                                    |
|           | 贴片电解电容器    | 贴片电解电容器应用越来越多,但是主要是小电容量的电容器                                                                                                                                                     |



### ★5.1.13 微调电容器和可变电容器种类

#### 1. 微调电容器种类（见表 5-5）

表 5-5 微调电容器种类

| 种类          | 说 明                                                      |
|-------------|----------------------------------------------------------|
| 瓷介质微调电容器    | 这种微调电容器的体积比较大,这种微调电容器往往是单个的,不与可变电容器组合在一起                 |
| 有机薄膜介质微调电容器 | 它分为单微调、双微调 and 四微调电容器等几种。它往往与可变电容器组合在一起,是目前应用最广泛的一种微调电容器 |
| 拉线微调电容器     | 一些小型收音机中采用拉线微调电容器,因为它的体积较小                               |

#### 2. 可变电容器种类（见表 5-6）

表 5-6 可变电容器种类

| 划分方法               | 说 明                                                                                                |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 按照介质划分             | 空气介质可变电容器。这种可变电容器的体积较大,过去用在电子管收音机中,现在几乎不用                                                          |
|                    | 薄膜介质可变电容器。这种可变电容器的体积小,现在主要使用这种可变电容器                                                                |
| 按照联数划分             | 单联可变电容器,它有一个可变电容器,主要用于直放式收音机电路中                                                                    |
|                    | 双联可变电容器。它有两个联动的可变电容器。根据两个单联可变电容器的电容量是否相等,又可分成等容双联和差容双联可变电容器,双联可变电容器主要用在调幅收音机电路中。这是一种目前应用比较广泛的可变电容器 |
|                    | 四联可变电容器。它又称为调频调幅四联,它用于具有调频、调幅波段的收音电路中。由于这种收音机电路是目前的流行电路,故四联可变电容器应用相当广泛                             |
| 按照电容量随转柄旋转角度变化规律划分 | 直线电容式可变电容器<br>直线波长式可变电容器<br>直线频率式可变电容器<br>对数电容式可变电容器                                               |

### ★5.1.14 电感器和变压器种类

#### 1. 普通电感器种类（见表 5-7）

表 5-7 电感器划分方法及种类

| 分类         | 名称       | 说 明                                         |
|------------|----------|---------------------------------------------|
| 按有无磁心划分    | 空心电感器    | 电感器中没有铁心或磁心,是一个空心线圈                         |
|            | 有心电感器    | 电感器中有铁心或磁心                                  |
| 按安装形式划分    | 立式电感器    | 电感器垂直安装在电路板上                                |
|            | 卧式电感器    | 电感器水平安装在电路板上                                |
|            | 小型固定式电感器 | 它像普通电阻器一样有两根固定引脚,可以方便地安装在电路板上               |
|            | 贴片式电感器   | 这种电感器无引脚,直接装配在铜箔线路一面                        |
| 按工作频率划分    | 高频电感器    | 高频电感器的特点是匝数少、电感量较小,用于工作频率比较高的电路中            |
|            | 低频电感器    | 低频电感器又称为低频阻流圈,主要用在低频(音频)电路中,电感量较大           |
| 按封装形式划分    | 普通电感器    | 这是常见的电感器,俗称线圈                               |
|            | 色环电感器    | 这种电感器的标称电感量采用色环方法标注                         |
|            | 环氧树脂电感器  | 这种电感器的外壳封装材料采用环氧树脂                          |
|            | 贴片电感器    | 贴片元件                                        |
| 按电感量是否可调划分 | 固定电感器    | 这种电感器的电感量是固定不变的                             |
|            | 可调电感器    | 这种电感器的电感量可以进行微调,旋转顶部的磁心可以微调电感量的大小,所以称为微调电感器 |

#### 2. 变压器种类（见图 5-3）

★5.1.15 二极管种类

二极管是电子电路中的常用器件，它的分类方法有多种。

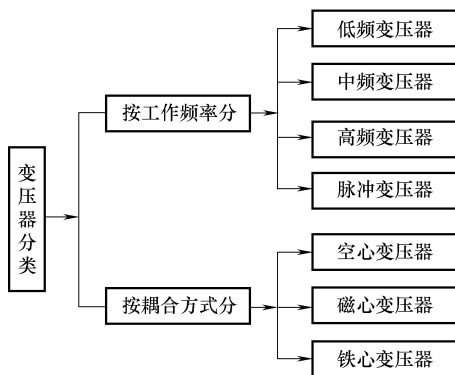


图 5-3 变压器种类示意图

1. 二极管种类一般性说明（见表 5-8）

表 5-8 二极管种类一般性说明

| 划分方法及种类    |           | 说 明                                     |
|------------|-----------|-----------------------------------------|
| 按照材料划分     | 硅二极管      | 硅材料二极管,常用的二极管                           |
|            | 锗二极管      | 锗材料二极管,使用量明显少于硅二极管                      |
| 按照外壳封装材料划分 | 塑料封装二极管   | 大量使用的二极管采用这种封装材料                        |
|            | 金属封装二极管   | 大功率整流二极管采用这种封装材料                        |
|            | 玻璃封装二极管   | 检波二极管等采用这种封装材料                          |
| 按功能划分      | 普通二极管     | 常见的二极管                                  |
|            | 整流二极管     | 专门用于整流的二极管                              |
|            | 发光二极管     | 专门用于指示信号的二极管,能发出可见光;此外还有红外发光二极管,能发出不可见光 |
|            | 稳压二极管     | 专门用于直流稳压的二极管                            |
|            | 光敏二极管     | 对光有敏感作用的二极管                             |
|            | 变容二极管     | 这种二极管的结电容比较大,并可在较大范围内变化                 |
|            | 开关二极管     | 专用于电子开关电路中                              |
|            | 瞬变电压抑制二极管 | 用于对电路进行快速过电压保护,分双极型和单极型两种               |
|            | 恒流二极管     | 它能在很宽的电压范围内输出恒定的电流,并具有很高的动态阻抗           |
|            | 双基极二极管    | 它是两个基极一个发射极的三端负阻器件,用于张弛振荡等电路            |
|            | 其他二极管     | 还有许多特性不同的二极管                            |
| 按击穿类型划分    | 齐纳击穿型二极管  | 这是可逆击穿的二极管,如稳压管二极管具有齐纳击穿特性              |
|            | 雪崩击穿型二极管  | 这是不可逆击穿的二极管,如普通二极管                      |

2. 二极管按 PN 结构造分类说明（见表 5-9）

表 5-9 二极管按 PN 结构造分类说明

| 名称      | 说 明                                                                 |
|---------|---------------------------------------------------------------------|
| 点接触型二极管 | <p>点接触型二极管是在锗或硅材料的单晶片上压一根金属触丝后,再通过电流法而形成的,图 5-4 所示是点接触型二极管结构示意图</p> |

图 5-4 点接触型二极管结构示意图



(续)

| 名称       | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 点接触型二极管  | <p>这种二极管 PN 结的静电容量小,适用于高频电路</p> <p>点接触型二极管与面结型二极管相比,正向特性和反向特性都差,因此不能使用于大电流和整流</p> <p>因为点接触型二极管构造简单,所以价格便宜。对于小信号的检波、整流、调制、混频和限幅等一般用途而言,它是应用范围较广的二极管</p>                                                                                                                                                                                                              |
| 台面型二极管   | <p>台面型二极管 PN 结的制作方法虽然与扩散型相同,但是,只保留 PN 结及其必要的部分,把不必要的部分用药品腐蚀掉。其剩余的部分便呈现出台面形,因而得名。初期生产的台面型,是对半导体材料使用扩散法而制成的,这种台面型称为扩散台面型。图 5-5 所示是台面型二极管结构示意图</p> <div data-bbox="649 493 915 712"></div> <p>图 5-5 台面型二极管结构示意图</p> <p>对于这一类型来说,似乎大电流整流用的产品型号很少,而小电流开关用的产品型号却很多</p>                                                                                                    |
| 平面型二极管   | <p>平面型二极管在半导体单晶片(主要是在 N 型硅单晶片)上,扩散 P 型杂质,利用硅片表面氧化膜的屏蔽作用,在 N 型硅单晶片上仅选择性地扩散一部分而形成的 PN 结。因此,不需要为调整 PN 结面积的药品腐蚀作用。由于半导体表面被制作得平整,故而得名,图 5-6 所示是平面型二极管结构示意图</p> <div data-bbox="655 907 915 1106"></div> <p>图 5-6 平面型二极管结构示意图</p> <p>在 PN 结的表面,因为被氧化膜覆盖,所以公认为是稳定性好和寿命长的类型。最初,对于被使用的半导体材料是采用外延法形成的,故又把平面型二极管称为外延平面型二极管</p> <p>对于平面型二极管而言,使用于大电流整流用的型号很少,而作小电流开关用的型号则很多</p> |
| 合金型二极管   | <p>合金型二极管在 N 型锗或硅的单晶片上,通过合金钢、铝等金属的方法制作 PN 结而形成的。正向电压降小,适于大电流整流</p> <p>因为其 PN 结反向时静电容量大,所以不适于高频检波和高频整流</p>                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 键型二极管    | <p>键型二极管是在锗或硅的单晶片上熔接金或银的细丝而形成的。其特性介于点接触型二极管和合金型二极管之间</p> <p>与点接触型二极管相比较,虽然键型二极管的 PN 结电容量稍有增加,但正向特性特别优良</p> <p>这种二极管多作开关用,有时也被应用于检波和电源整流(不大于 50mA)</p> <p>在键型二极管中,熔接金丝的二极管有时被称金键型,熔接银丝的二极管有时被称为银键型</p>                                                                                                                                                               |
| 扩散型二极管   | <p>扩散型二极管在高温的 P 型杂质气体中,加热 N 型锗或硅的单晶片,使单晶片表面的一部分变成 P 型,以此法形成 PN 结</p> <p>因为 PN 结正向电压降小,因此这种二极管适用于大电流整流。最近,使用大电流整流器的主流已由硅合金型二极管转移到硅扩散型</p>                                                                                                                                                                                                                            |
| 合金扩散型二极管 | <p>合金扩散型二极管是合金型的一种。合金材料是容易被扩散的材料。把难以制作的材料通过巧妙地掺配杂质,就能与合金一起扩散,以便在已经形成的 PN 结中获得杂质的恰当的浓度分布</p> <p>合金扩散型二极管适用于制造高灵敏度的变容二极管</p>                                                                                                                                                                                                                                          |
| 外延型二极管   | <p>外延型二极管是用外延面生长过程制造的 PN 结而形成的二极管。制造时需要非常高超的技术。因能随意地控制杂质的不同浓度的分布,故适宜于制造高灵敏度的变容二极管</p>                                                                                                                                                                                                                                                                               |



(续)

| 名称     | 说 明                                                                                                                                               |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 肖特基二极管 | 肖特基二极管基本原理是:在金属(例如铅)和半导体(N型硅片)的接触面上,用已形成的肖特基来阻挡反向电压<br>肖特基二极管与 PN 结二极管的整流作用原理有根本性的差异。其耐压程度只有 40V 左右。其特长是:开关速度非常快,反向恢复时间特别短。因此,能制作开关二极管和低压大电流整流二极管 |

3. 点接触型二极管按正向和反向特性分类说明 (见表 5-10)

表 5-10 点接触型二极管按正向和反向特性分类说明

| 名称           | 说 明                                                                                                                               |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 一般点接触型二极管    | 这种二极管通常被使用于检波和整流电路中,是正向和反向特性既不特别好,也不特别坏的中间产品<br>如:SD34、SD46、1N34A 等属于这一类二极管                                                       |
| 高反向耐压点接触型二极管 | 它是最大峰值反向电压和最大直流反向电压很高的二极管,这种型号的二极管一般正向特性不太好或一般,它们用于高压电路的检波和整流<br>在点接触型锗二极管中,有 SD38、1N38A、OA81 等。这种锗材料二极管,其耐压受到限制。要求更高时有硅合金和扩散型二极管 |
| 高反向电阻点接触型二极管 | 这种二极管正向电压特性和一般的二极管相同。虽然其反方向耐压也是特别高,但反向电流小,因此其特长是反向电阻高<br>这种二极管用于高输入电阻的电路和高阻负载电阻的电路中,高反向电阻型锗二极管有 SD54、1N54A 等                      |
| 高传导点接触型二极管   | 它与高反向电阻型二极管相反,其反向特性尽管很差,但是正向电阻足够小<br>高传导点接触型二极管有 SD56、1N56A 等。高传导键型二极管能够得到更优良的特性。这类二极管,在负载电阻特别低的情况下,整流效率较高                        |

4. 二极管按用途分类说明 (见表 5-11)

表 5-11 二极管按用途分类说明

| 名称    | 说 明                                                                                                                                                                 |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 检波二极管 | 以工作电流的大小作为界线,通常把输出电流小于 100mA 的二极管叫做检波二极管<br>点接触型锗二极管、工作频率可达 400MHz,正向压降小,结电容小,检波效率高,频率特性好,如 2AP 型二极管<br>这种二极管除用于检波外,还能够用于限幅、削波、调制、混频、开关等电路                          |
| 整流二极管 | 通常将工作电流大于 100mA 的二极管叫整流二极管。面结型二极管,工作频率低,最高反向电压为 25 ~ 3000V,分为 A ~ X 共 22 挡。分类如下:<br>1) 硅半导体整流二极管,如 2CZ 型<br>2) 硅桥式整流器,如 QL 型<br>3) 用于电视机高压硅堆,如工作频率近 100kHz 的 2CLG 型 |
| 限幅二极管 | 大多数二极管能作为限幅使用<br>有保护仪表用和高频齐纳二极管那样的专用限幅二极管。为了使这些二极管具有特别强的限制尖锐振幅的作用,通常使用硅材料制造二极管<br>还有组合型的限幅二极管,即根据限制电压需要,将多个整流二极管串联起来形成一个整体                                          |
| 调制二极管 | 它通常指的是环形调制专用的二极管,就是正向特性一致性好的 4 个二极管的组合物<br>变容二极管也有调制功能,但是变容二极管通常是作为调制用,即用于压控振荡器中                                                                                    |
| 混频二极管 | 使用二极管混频器时,频率范围为 500 ~ 10000Hz,多采用肖特基型和点接触型二极管                                                                                                                       |
| 放大二极管 | 用二极管放大有两种:依靠隧道二极管和体效应二极管那样的负阻性器件的放大,以及用变容二极管的参量放大<br>因此,放大用二极管通常是指隧道二极管、体效应二极管和变容二极管                                                                                |





(续)

| 名称                                         | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 开关二极管                                      | <p>有小电流(10mA)下使用的逻辑运算和在数百毫安下使用的磁心激励用开关二极管</p> <p>小电流开关二极管通常有点接触型和键型等二极管,也有在高温下还可能工作的硅扩散型、台面型和平面型二极管</p> <p>开关二极管的特长是开关速度快。而肖特基型二极管的开关时间特短,因而是理想的开关二极管</p> <p>2AK 型点接触型二极管供中速开关电路用,2CK 型平面接触型二极管供高速开关电路用,用于开关、限幅、钳位或检波等电路</p> <p>肖特基(SBD)大电流开关硅二极管的优点是正向压降小,速度快、效率高</p>                                                                                                                                                                                                                                          |
| 变容二极管                                      | <p>用于自动频率控制(AFC)和调谐用的小功率二极管称为变容二极管。变容二极管采用硅扩散型二极管,也有采用合金扩散型、外延结合型、双重扩散型等特殊制作的二极管,因为这些二极管对于电压而言,其静电容量的变化率特别大</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 频率倍增二极管                                    | <p>对二极管的频率倍增作用而言有两种:依靠变容二极管的频率倍增和依靠阶跃(即急变)二极管的频率倍增;频率倍增用的变容二极管,它又称为可变电抗器</p> <p>阶跃二极管又被称为阶跃恢复二极管,从导通切换到关闭时的反向恢复时间短,其特点是急速地变成关闭的,转移时间短。如果对阶跃二极管施加正弦波,那么,因为转移时间短,所以输出波形急躁地被夹断,故能产生很多高频谐波,实现频率倍增功能</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 稳压二极管                                      | <p>它为硅扩散型或合金型,是反向击穿特性曲线急骤变化的二极管,动态电阻 <math>R_z</math> 很小</p> <p>稳压二极管工作时的端电压(又称齐纳电压)约为 3 ~ 150V,按每隔 10%,能划分成许多等级</p> <p>在功率方面,也有 200mW ~ 100W 的产品</p> <p>主要有 2CW 型。将两个互补二极管反向串接,以减少温度系数的产品有 2DW 型</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| PIN 型二极管                                   | <p>PIN 二极管由三层半导体材料构成,即在 P 区和 N 区之间夹一层本征半导体(或低浓度杂质的半导体,是很厚的本征半导体层)构造的晶体二极管。PIN 中的 I 是“本征”意义的英文缩略语</p> <p>当其工作频率超过 100MHz 时,由于少数载流子的存储效应和“本征”层中的渡越时间效应,其二极管失去整流作用而变成阻抗元件,并且其阻抗值随偏置电压而改变</p> <p>在零偏置或直流反向偏置时,“本征”区的阻抗很高</p> <p>在直流正向偏置时,由于载流子注入“本征”区,而使“本征”区呈现出低阻抗状态。因此,可以把 PIN 二极管作为可变阻抗元件使用</p> <p>PIN 型二极管通常应用于高频开关(即微波开关)、移相、调制、限幅等电路中</p> <p>PIN 二极管主要应用于射频开关和射频可变电阻,工作频率可以高达 50GHz。PIN 二极管的射频电阻可以在直流偏置电压的控制下,从高阻抗的 10k<math>\Omega</math> 变到低阻抗的小于 1<math>\Omega</math>。在射频电路中通常用作电子开关,如 GSM 手机中的双工器电子开关</p> |
| 雪崩二极管<br>(Avalanche Diode)                 | <p>它是在外加电压作用下可以产生高频振荡的二极管</p> <p>产生高频振荡的工作原理是:利用雪崩击穿对晶体注入载流子,因载流子渡越晶片需要一定的时间,所以其电流滞后于电压,出现延迟时间,若适当地控制渡越时间,那么,在电流和电压关系上就会出现负阻效应,从而产生高频振荡</p> <p>雪崩二极管通常被应用于微波领域的振荡电路中</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 江崎二极管<br>(Tunnel Diode)                    | <p>它是以隧道效应电流为主要电流分量的晶体二极管</p> <p>江崎二极管为双端子有源器件。其主要参数有峰谷电流比(<math>I_p/I_v</math>),其中,下标“P”代表“峰”;而下标“V”代表“谷”</p> <p>江崎二极管可以被应用于低噪声高频放大器及高频振荡器中(其工作频率可达毫米波段),也可以被应用于高速开关电路中</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 快速关断<br>(阶跃恢复)二极管<br>(Step Recovery Diode) | <p>它是一种具有 PN 结的二极管</p> <p>阶跃恢复二极管的“自助电场”缩短了存储时间,使反向电流快速截止,并产生丰富的谐波分量。利用这些谐波分量可设计出梳状频谱发生电路</p> <p>快速关断(阶跃恢复)二极管用于脉冲和高次谐波电路中</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 肖特基二极管<br>(Schottky Barrier Diode)         | <p>它是具有肖特基特性的“金属半导体结”的二极管,其正向起始电压较低,它是高频和快速开关的理想器件,工作频率可达 100GHz。并且,MIS(金属—绝缘体—半导体)肖特基二极管可以用来制作太阳能电池或发光二极管</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |



(续)

| 名称            | 说 明                                                                                                                     |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 阻尼二极管         | 具有较高的反向工作电压和峰值电流,正向压降小,高频高压整流二极管,在电视机行扫描电路中做阻尼和升压整流用,要求其承受较高的反向工作电压和峰值电流,且要求正向压降越小越好,因此它是一种特殊的高频高压整流二极管,也可看作是高压开关二极管的一种 |
| 瞬变电压抑制二极管     | 它可以对电路进行快速过电压保护,分双极型和单极型两种,按峰值功率(500~5000W)和电压(8.2~200V)分类                                                              |
| 双基极二极管(单结晶体管) | 它是有两个基极、一个发射极的三端负阻器件,用于张弛振荡电路,定时电压读出电路中,它具有频率易调、温度稳定性好等优点                                                               |
| 发光二极管         | 它是能发光的二极管,体积小,正向驱动发光,工作电压低,工作电流小,发光均匀,寿命长                                                                               |

★5.1.16 稳压二极管、变容二极管和发光二极管种类

1. 稳压二极管种类

稳压二极管根据外壳包装材料划分有金属、玻璃、塑料的,塑封稳压二极管又分为有引线型和表面封装两种类型;根据内部结构划分有普通稳压二极管(两根引脚)和温度互补型稳压二极管(三根引脚);根据其电流容量可分为大功率稳压二极管(2A以上)和小功率稳压二极管(1.5A以下)。

2. 变容二极管种类

变容二极管按照PN结的结构和结面附近杂质的分布情况不同,可以分成缓变结、突变结和超变结3种类型。

变容二极管的结电容随反向偏置电压的增大而减小,各种类型变容二极管的结电容量变化速率是不同的,缓变结的最慢,超变结的最快。

3. 发光二极管种类(见表5-12)

表 5-12 发光二极管种类

| 划分方法及种类    |                     | 说 明                                                                                                               |
|------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 按照材料划分     | 磷化镓(GaP)发光二极管       | 给发光二极管加上足够的正向偏置电压后,由于材料和工艺的不同,在空穴和电子复合时释放出的能量主要是光能,这就是发光二极管能够发光的原因                                                |
|            | 磷砷化镓(GaAsP)发光二极管    | 普通单色发光二极管的发光颜色与发光的波长有关,而发光的波长又取决于制造发光二极管所用的半导体材料                                                                  |
|            | 铝砷化镓(GaAlAs)发光二极管   | 红色发光二极管的波长一般为650~700nm,琥珀色发光二极管的波长一般为630~650nm,橙色发光二极管的波长一般为610~630nm,黄色发光二极管的波长一般为585nm左右,绿色发光二极管的波长一般为555~570nm |
|            | 砷化镓(GaAs)发光二极管      |                                                                                                                   |
|            | 磷铟砷化镓(GaAsInP)发光二极管 |                                                                                                                   |
| 按照发光颜色划分   | 红色发光二极管             | 红色发光二极管的压降为2.0~2.2V                                                                                               |
|            | 黄色发光二极管             | 黄色发光二极管的压降为1.8~2.0V                                                                                               |
|            | 绿色发光二极管             | 绿色发光二极管的压降为3.0~3.2V                                                                                               |
|            | 白色发光二极管             | 白色发光二极管的压降约为3.5V左右                                                                                                |
|            | 蓝色发光二极管             | 蓝色发光二极管使用量少                                                                                                       |
| 按照发光是否可见划分 | 可见光发光二极管            | 可见光发光二极管能发出各种可见颜色光                                                                                                |
|            | 红外发光二极管             | 红外发光二极管所发出的光在红外波段,为不可见光                                                                                           |
| 按发光强度划分    | 普通亮度发光二极管           | 普通亮度发光二极管发光强度小于10mcd                                                                                              |
|            | 高亮度发光二极管            | 高亮度发光二极管发光强度在10~100mcd之间                                                                                          |
|            | 超高亮度发光二极管           | 超高亮度发光二极管发光强度为大于100mcd                                                                                            |
| 按工作电流划分    | 普通发光二极管             | 这种发光二极管使用直流电流来驱动                                                                                                  |
|            | 交流发光二极管             | 这种发光二极管直接使用交流电流来驱动,不需要普通发光二极管那样要将交流电先整流为直流电                                                                       |



(续)

| 划分方法及种类          |                    | 说 明                                  |
|------------------|--------------------|--------------------------------------|
| 按照发光颜色<br>是否改变划分 | 单色发光二极管            | 单色发光二极管只能发出一种颜色光                     |
|                  | 双色发光二极管            | 双色和三色能够分别发出两种和三种颜色光                  |
|                  | 三色发光二极管            |                                      |
|                  | 变色发光二极管            | 变色发光二极管的发光颜色能够改变                     |
| 按照封装结构<br>及封装形式  | 金属封装发光二极管          | 在小型化电子设备中使用无引线表面封装发光二极管,即贴片发光二<br>极管 |
|                  | 陶瓷封装发光二极管          |                                      |
|                  | 塑料封装发光二极管          |                                      |
|                  | 树脂封装发光二极管          |                                      |
|                  | 无引线表面封装<br>发光二极管   |                                      |
|                  | 加色散射封装(D)<br>发光二极管 |                                      |
|                  | 无色散射封装(W)<br>发光二极管 |                                      |
|                  | 有色透明封装(C)<br>发光二极管 |                                      |
| 按照封装外形划分         | 无色透明封装(T)<br>发光二极管 | 最常见的发光二极管是圆柱形的,组合形的用来制作成各种符号形状       |
|                  | 圆柱形发光二极管           |                                      |
|                  | 矩形发光二极管            |                                      |
|                  | 三角形发光二极管           |                                      |
|                  | 方形发光二极管            |                                      |
|                  | 组合形发光二极管           |                                      |

除上述各类发光二极管外,还有闪烁发光二极管、电压控制型发光二极管和负阻发光二极管等。

★5.1.17 晶体管种类

晶体管是一个“大家族”,人丁众多,品种齐全。表 5-13 所示是晶体管种类说明。晶体管按极性划分有两种:NPN 型晶体管(常用晶体管)和 PNP 型晶体管。

表 5-13 晶体管种类说明

| 划分方法及名称        |           | 说 明                                          |
|----------------|-----------|----------------------------------------------|
| 按极性划分          | NPN 型晶体管  | 这是目前常用的晶体管,电流从集电极流向发射极                       |
|                | PNP 型晶体管  | 电流从发射极流向集电极。这两种晶体管通过电路符号可以分清,不同之处是发射极的箭头方向不同 |
| 按材料划分          | 硅晶体管      | 简称为硅管,这是目前常用的晶体管,工作稳定性好                      |
|                | 锗晶体管      | 简称为锗管,反向电流大,受温度影响较大                          |
| 按极性和材料<br>组合划分 | PNP 型硅晶体管 | 最常用的是 NPN 型硅管                                |
|                | NPN 型硅晶体管 |                                              |
|                | PNP 型锗晶体管 |                                              |
|                | NPN 型锗晶体管 |                                              |
| 按工作频率划分        | 低频晶体管     | 工作频率比较低,用于直流放大器、音频放大器电路                      |
|                | 高频晶体管     | 工作频率比较高,用于高频放大器电路                            |
| 按功率划分          | 小功率晶体管    | 输出功率很小,用于前级放大器电路                             |
|                | 中功率晶体管    | 输出功率较大,用于功率放大器输出级或末级电路                       |
|                | 大功率晶体管    | 输出功率很大,用于功率放大器输出级                            |
| 按封装材料划分        | 塑料封装晶体管   | 小功率晶体管常采用这种封装                                |
|                | 金属封装晶体管   | 一部分大功率晶体管和高频晶体管采用这种封装                        |



(续)

| 划分方法及名称 |              | 说 明                                       |
|---------|--------------|-------------------------------------------|
| 按安装形式划分 | 普通方式晶体管      | 大量的晶体管采用这种形式,三根引脚通过电路板上引脚孔伸到背面铜箔线路上,用焊锡焊接 |
|         | 贴片晶体管        | 晶体管引脚非常短,晶体管直接装在电路板铜箔线路一面,用焊锡焊接           |
| 按用途划分   | 放大管、开关管、振荡管等 | 用来构成各种功能电路                                |

- 1) 低频小功率晶体管。低频小功率晶体管一般指特征频率在 3MHz 以下,功率小于 1W 的晶体管,一般作为小信号放大用。
- 2) 高频小功率晶体管。高频小功率晶体管一般指特征频率大于 3MHz,功率小于 1W 的晶体管,主要用于高频振荡、放大电路中。
- 3) 低频大功率晶体管。低频大功率晶体管指特征频率小于 3MHz,功率大于 1W 的晶体管。低频大功率晶体管品种比较多,主要应用于电子音响设备的低频功率放大电路中,用于各种大电流输出稳压电源中作为调整管。
- 4) 高频大功率晶体管。高频大功率晶体管指特征频率大于 3MHz,功率大于 1W 的晶体管,主要用于通信等设备中作为功率驱动、放大。
- 5) 开关晶体管。开关晶体管是利用控制饱和区、截止区相互转换而工作的。开关晶体管的开关过程需要一定的响应时间,开关响应时间的长短表示了晶体管开关特性的好坏。
- 6) 差分对管。差分对管是把两只性能一致的晶体管封装在一起的晶体管,它能以最简单的方式构成性能优良的差分放大器。
- 7) 复合晶体管。复合晶体管是分别选用各种极性的晶体管进行复合连接,在组成复合晶体管时,不管选用什么样的晶体管,这些晶体管按照一定的方式连接后可以看成是一个高 $\beta$ 的晶体管。

★5.1.18 集成电路种类

集成电路的种类很多,按照不同的分类方法有不同的集成电路。

1. 按照使用功能划分

集成电路以使用功能来分类可以分成 4 大类近 20 种,如表 5-14 所示。

表 5-14 按照使用功能划分集成电路种类

| 名称     | 说 明                                                                                                                           |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 模拟集成电路 | 所谓模拟集成电路就是用于模拟电子电路中的集成电路,这类集成电路所处理的是模拟信号,模拟信号是一种连续变化的信号。模拟集成电路按照电路功能分成下列多种                                                    |
|        | 运算放大器集成电路 这是应用量最多的一种模拟集成电路,简称为集成运放。它的具体运用也是很多的,它是一种高增益低漂移的直流放大电路                                                              |
|        | 音响集成电路 这是用于各类音响设备中的集成电路,例如用于录音机、收音机、组合音响和音响组合等设备中的集成电路,还有视频播放设备中的音频处理电路                                                       |
|        | 视频集成电路 这是用于各类视频设备中的集成电路,例如用于电视机、影碟机、录像机等设备中的集成电路                                                                              |
|        | 稳压集成电路 这是用于稳压电路中的集成电路,有各种电压等级的稳压集成电路                                                                                          |
|        | 非线性集成电路 这是集成运放的一种非线性运用方式,此时集成运放处于无反馈或者带正反馈状态,它的输出量与输入量之间不成线性的关系,输出量不是处于正饱和的状态就是处于负饱和的状态                                       |
| 数字集成电路 | 所谓数字信号是一个离散量,具体地讲数字信号的电压或电流在时间和数值上都是离散的,不连续的。例如普通指针式万用表在指示电阻值时,通过指针的摆动和表面的刻度来指示电阻值,可数字式万用表则通过数字来指示电阻值。数字集成电路按功能分有很多,这里举几例说明如下 |



(续)

| 名称     | 说 明                                                 |                                                      |
|--------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 数字集成电路 | 单片机集成电路                                             | 这是用于计算机中的集成电路,家用电脑中的集成电路都是单片机集成电路,例如 CPU 就是这一种数字集成电路 |
|        | 存储器集成电路                                             | 在数字电路系统中,常用这种具有存储功能的集成电路,它是由门电路和触发器组合的集成电路           |
|        | COMS 集成电路                                           | 这是一种采用 P-MOS 和 N-MOS 场效应晶体管,且进行互补使用,组成金属-氧化物-半导体电路   |
| 接口集成电路 | 这是一种重要的电路,用于各类信号之间的转换,也可用于不同类型电路之间的连接。这类集成电路主要有以下几种 |                                                      |
|        | 电压比较器集成电路                                           | 这是一种将模拟量按量值的大小转换成逻辑代码的集成电路                           |
|        | 电平转换器集成电路                                           | 这是一种可以用来衔接不同电平类型的集成电路,是一种转换电平的专用集成电路                 |
|        | 外围驱动器集成电路                                           | 这是一种微机与外围接口电路的驱动电路                                   |
| 特殊集成电路 | 这是特殊用途的集成电路,有许许多多的类型,举例如下                           |                                                      |
|        | 消费类集成电路                                             | 这是为适应消费商品而专门设计的各种功能集成电路,其应用面相当广泛                     |
|        | 通信集成电路                                              | 这是为通信系统而设计的专用集成电路                                    |
|        | 传感器集成电路                                             | 这是为了配合各类传感器器件而设计的专用集成电路,不同的传感器则有不同的集成电路与之配合          |

2. 按制作工艺划分

集成电路按照制作工艺划分有 3 大类 7 种, 如表 5-15 所示。

表 5-15 按制作工艺划分集成电路种类

| 名称      | 说 明                                                                                               |                                                      |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 半导体集成电路 | 半导体集成电路是以半导体单晶为基础材料,以平面工艺为基本工艺而制成的集成电路,根据晶体管是采用双极型还是 MOS 型的不同,可分为双极型集成电路、MOS 型集成电路和兼容型集成电路,具体说明如下 |                                                      |
|         | 双极型集成电路                                                                                           | 这种集成电路是在半导体衬底片上,制作双极型晶体管、电阻、电容以及连线等,参与导电的是电子和空穴两种载流子 |
|         | NMOS 型集成电路                                                                                        | 这种集成电路在硅片上,以 N 型沟道 MOS 器件构成电路,集成电路内电路的放大管参与导电的是电子    |
|         | PMOS 型集成电路                                                                                        | 这种集成电路在硅片上,以 P 型沟道 MOS 器件构成电路,集成电路内电路的放大管参与导电的是空穴    |
|         | CMOS 集成电路                                                                                         | 这种集成电路在前面已经介绍                                        |
| 膜集成电路   | 厚膜集成电路                                                                                            | 这种集成电路采用膜工艺制造,其中采用丝网漏印工艺制作厚膜电阻、电容,焊上晶体管芯,构成集成电路的内电路  |
|         | 薄膜集成电路                                                                                            | 这种集成电路采用真空镀膜或溅射工艺制作薄膜元器件,或由薄膜元件与平面工艺为基本制作工艺          |
| 混合集成电路  | 凡是一个完整的电路不能由膜工艺或半导体集成工艺单独制作,而是利用半导体集成工艺、膜工艺和分立元器件工艺 3 种中的任何两种以上工艺制作的集成电路都称为混合集成电路                 |                                                      |

3. 按封装形式划分

集成电路按照封装形式划分的主要有 4 种, 如表 5-16 所示。

表 5-16 按封装形式划分集成电路种类

| 名称       | 说 明                                                                                                 |  |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 单列直插集成电路 | 这种集成电路的外壳采用陶瓷、低熔玻璃及塑料制成。采用这种封装的集成电路外形有多种,有的像晶体管外形一样,只有三根引脚(集成电路最少得三根引脚,如三端稳压集成电路就是这种);有的引脚比较多,且排为一列 |  |
|          | 单列直插扁平封装集成电路的引脚数目一般少于 12 根,小规模、中规模集成电路一般采用这种封装形式                                                    |  |
|          | 在这种封装的集成电路中还有一种是单列曲插集成电路,即引脚也是单列,但引脚是弯曲状的                                                           |  |





(续)

| 名称       | 说 明                                                                                                                                   |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 双列直插集成电路 | 这种集成电路的外壳采用陶瓷、低熔玻璃及塑料制成。采用这种封装的集成电路外形有多种,它的引脚呈对称的两列排列,引脚数目一般在 12 根以上(也有少于 12 根引脚的)、24 根以下,引脚数必是 2 的倍数。通常大规模集成电路采用这种封装形式,这是常见封装形式的集成电路 |
| 贴片集成电路   | 贴片集成电路外形有双列和四列两种,双列的或四列的引脚均对称排列。这种集成电路在安装时与前面的集成电路不同,它直接贴在电路板铜箔电路一面,引脚相当短<br>通常数字集成电路和超大规模集成电路(四列形式)采用这种封装形式                          |
| 金属封装集成电路 | 这种集成电路的外壳是金属的,如同中功率晶体管那样,只是引脚数目比较多,最多可达十几根                                                                                            |

4. 按集成度划分

集成电路的集成度是指一块基片上能制作的最多元器件数量,按此划分有 4 种集成电路,如表 5-17 所示。

表 5-17 按集成度划分集成电路种类

| 名称       | 说 明                                                                                                           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 小规模集成电路  | 小规模集成电路又称为普通集成电路,用英文缩写字母 SSI(Small Scale Integration)表示。在小规模集成电路中,模拟电路中的元器件数目一般少于 100 个,数字电路中的门电路数目一般少于 30 个  |
| 中规模集成电路  | 中规模集成电路用英文缩写字母 MSI(Medium-Scale Integration)表示。在中规模集成电路中,模拟电路中的元器件数目一般在 100~1000 个之间,数字电路中的门电路数目为 30~100 个之间  |
| 大规模集成电路  | 大规模集成电路用英文缩写字母 LSI(Large Scale Integration)表示。在大规模集成电路中,模拟电路中的元器件数目一般在 1000 以上,数字电路中的门电路数目为 100 个以上           |
| 超大规模集成电路 | 超大规模集成电路用英文缩写字母 ULSI(Ultra-Large-Scale Integration)表示。在超大规模集成电路中,模拟电路中的元器件数目一般在 10 万个以上,数字电路中的门电路数目为 1000 个以上 |



重要提示

在民用电子设备中,一般使用大规模集成电路及以下集成度的集成电路。单片电视机中使用了大规模集成电路。在民用电子设备中,大量使用模拟集成电路和数字集成电路,如数字伺服集成电路、影碟机中的许多小信号处理集成电路等。

★5.1.19 晶闸管种类 (见表 5-18)

表 5-18 晶闸管种类

| 分类方法        | 说 明                                                                       |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 按关断、导通及控制方式 | 有普通晶闸管、门极关断晶闸管、逆导晶闸管、双向晶闸管、四极晶闸管、BTG 晶闸管、温控晶闸管、光控晶闸管和晶闸管模块                |
| 按引脚和极性方式    | 有二极晶闸管、三极晶闸管和四极晶闸管                                                        |
| 按封装形式       | 金属封装晶闸管、塑封晶闸管和陶瓷封装晶闸管 3 种。金属封装晶闸管又分为螺栓形、平板形、圆壳形等多种。塑封晶闸管又分为带散热片型和不带散热片型两种 |
| 按电流容量       | 有大功率晶闸管、中功率晶闸管和小功率晶闸管三种。通常,大功率晶闸管多采用金属壳封装,而中、小功率晶闸管则多采用塑封或陶瓷封装            |
| 按关断速度       | 有普通晶闸管和高频(快速)晶闸管                                                          |

★5.1.20 场效应晶体管种类

场效应晶体管分结型、绝缘栅型两大类。

1. 结型场效应晶体管

各种场效应晶体管按照导电沟道所用的材料不同又分为两类:



- 1) N 沟道。它的载流子为电子。
- 2) P 沟道。它的载流子为空穴。

## 2. 绝缘栅型场效应晶体管

绝缘栅型场效应晶体管的栅极 G 与源极 S、漏极 D 是绝缘的,因此称它为绝缘栅型场效应晶体管。

在绝缘栅型场效应晶体管中,应用最为广泛的是 MOS 场效应晶体管,简称为 MOS 管 [即金属-氧化物-半导体场效应晶体管 (MOSFET)],还有 PMOS、NMOS 和 VMOS 功率场效应晶体管,以及最新的  $\pi$ MOS 场效应晶体管、VMOS 功率模块等。



### 重要提示

增强型和耗尽型的区别是:当  $U_{GS}=0V$  时,源极和漏极之间存在导电沟道,称为耗尽型;必须使  $|U_{GS}|>0$  时才有导电沟道的,称为增强型。

所谓增强型是指当  $U_{GS}=0$  时场效应晶体管呈截止状态,加上正确的  $U_{GS}$  后,多数载流子被吸引到栅极,从而“增强”了该区域的载流子,形成导电沟道。耗尽型则是指当  $U_{GS}=0$  时即形成沟道,加上正确的  $U_{GS}$  时,能使多数载流子流出沟道,因而“耗尽”了载流子,使场效应晶体管转向截止。

## ★5.1.21 收音电路用磁棒种类 (见表 5-19)

表 5-19 收音电路用磁棒种类

| 名称      | 说 明                                                                  |
|---------|----------------------------------------------------------------------|
| 按工作频率划分 | 有中波磁棒和短波磁棒                                                           |
| 按照形状划分  | 有圆形磁棒和扁形磁棒两种,前者磁导率高,但体积大,后者则容易折断,体积小                                 |
| 按照长度划分  | 有许多规格,磁棒越长能聚集的电波能量越大,收音灵敏度越高,所以在一些台式或较大的便携式收音机中,均用很长的磁棒              |
| 中波磁棒    | 采用锰锌铁氧体材料制成,它的磁导率较大,但工作频率较低,一般低于 1.6MHz,故只能用于中波段                     |
| 短波磁棒    | 采用镍锌铁氧体材料制成,它的特点是磁导率低(只有锰锌铁氧体磁棒的 1/10),但工作频率高,一般可达 12~26MHz,故可以用于短波段 |



### 重要提示

中、短波磁棒之间不能互换使用。如果中波磁棒天线采用了短波磁棒,会因磁导率低而使灵敏度下降;如果短波磁棒天线采用中波磁棒,虽然磁导率较高,但是因为工作频率太低而造成信号的能量损耗增大许多。

## ★5.1.22 继电器种类 (见表 5-20)

表 5-20 继电器分类方法说明

| 分类    | 说 明    |          |
|-------|--------|----------|
| 按输出形式 | 有触点继电器 | 有机电式开关触点 |
|       | 无触点继电器 | 无机电式开关触点 |



(续)

| 分类             | 说 明                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 按工作原理或<br>结构特征 | 电磁继电器                        | 利用输入电路内电路在电磁铁铁心与衔铁间产生的吸力作用而工作的一种电气继电器<br>它包括直流电磁继电器、交流电磁继电器、磁保持继电器、极化继电器、舌簧继电器和节能功率继电器<br>1) 直流电磁继电器:输入电路中的控制电流为直流<br>2) 交流电磁继电器:输入电路中的控制电流为交流<br>3) 磁保持继电器:将磁钢引入磁回路,继电器线圈断电后,继电器的衔铁仍能保持在线圈通电时的状态,具有两个稳定状态<br>4) 节能功率继电器:输入电路中的控制电流为交流,但是它的电流大(一般30~100A),体积小,具有节电功能<br>5) 舌簧继电器:具有触点簧片和衔铁磁路双重作用的舌簧动作来接通或断开触点的继电器<br>6) 极化继电器:有极化磁场与控制电流通过控制线圈所产生的磁场综合作用而动作的继电器。继电器的动作方向取决于控制线圈中流过的电流方向 |
|                | 固体继电器                        | 这种继电器中无机械运动构件便能实现开关转换功能,是输入回路和输出回路也能够隔离的继电器                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                | 温度继电器                        | 当外界温度达到给定值时能动作的继电器,为温度控制的继电器                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                | 时间继电器                        | 加上或除去输入控制信号时,输出部分需延时或限时到规定时间才接通或断开其被控线路的继电器,这种继电器具有控制延时功能                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                | 高频继电器                        | 用于切换高频、射频电路而具有最小损耗的继电器                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                | 其他继电器                        | 例如,加速度继电器、风速继电器、光继电器、声继电器、热继电器、仪表式继电器、霍尔效应继电器、差动继电器等,它们都是受加速度或风速、光或声等控制的继电器                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 按外形尺寸          | 微型继电器<br>超小型微型继电器<br>小型微型继电器 | 对于密封或封闭式继电器,外形尺寸为继电器本体3个相互垂直方向的最大尺寸,不包括安装件、引出端、压筋、压边、翻边和密封焊点的尺寸                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 按负载            | 微功率继电器                       | 小于0.2A的继电器                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                | 弱功率继电器                       | 0.2~2A的继电器                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                | 中功率继电器                       | 2~10A的继电器                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                | 大功率继电器                       | 10A以上继电器                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 按继电器的<br>防护特征  | 密封继电器                        | 采用焊接或其他方法,将触点和线圈等密封在罩壳内,其泄漏率较低的继电器                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                | 塑封继电器                        | 它采用封胶的方法将触点和线圈等密封在塑料罩内,其泄漏率较高                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                | 防尘罩继电器                       | 用罩壳将触点和线圈等封闭加以防护的继电器                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                | 敞开式继电器                       | 不用防护罩来保护触点和线圈等的继电器                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 按用途            | 家用电器继电器                      | 家用电器中使用的继电器,要求安全性能好                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                | 汽车继电器                        | 这类继电器切换负载功率大,抗冲击、抗振性高                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                | 通信继电器                        | 这类继电器触点负载范围从低电平到中等电流,对环境使用条件要求不高                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                | 机床继电器                        | 这类继电器触点负载功率大,寿命长                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

★5.1.23 磁头种类

1. 按声道数目划分

- 1) 单声道磁头:这种磁头用于单声道音响设备中,现在比较少见。单声道磁头只有两根引脚。这两根引脚在直流偏磁、直流抹音电路中有极性之分,相互接反将会造成录音声音很小的故障,但对放音没有影响。
- 2) 双声道磁头:这种磁头用于双声道音响设备之中,目前主要使用这种磁头,这种磁头有4根引脚,每个声道各两根引脚,每个声道的两根引脚之间不能相互接反,否则放音、录音时的声场位置错误,即左、右声部相反。
- 3) 四声道磁头:这种磁头用于具有A、B面连续放音功能双声道音响设备中,这种磁头共有8



根引脚，每个声道各两根引脚，各声道磁头之间不能接错。

## 2. 按功能划分

- 1) 放音磁头：用于放音卡中。
- 2) 录音磁头：在民用音响设备中不用，主要用于专用音响设备中作为录音磁头。
- 3) 录放磁头：用于录放卡中，作为录放磁头，它能录音，也能放音。
- 4) 抹音磁头：用于录放卡中作为抹音磁头，在录音时，要先对磁带进行抹音，这由抹音磁头来完成。
- 5) 旋转式放音磁头：用于具有 A、B 连续放音功能的音响设备中。
- 6) 三合一磁头：将放音、录音和抹音磁头合三为一，一个磁头具有 3 种功能。



### 重要提示

上述诸磁头中，除抹音磁头没有单、双声道之分（都是单声道，专用抹音磁头除外），其他磁头有单声道、双声道磁头之分。各种磁头中，除抹音磁头是塑料外壳外，其他磁头都是金属外壳，外壳通过接地达到抗干扰的目的。

## ★5.1.24 直流有刷电动机、石英晶振、扬声器和传声器种类

### 1. 直流有刷电动机种类

- 1) 单速电动机：只有一种转速，但是转速可以微调。
- 2) 双速电动机：有两种转速，一个常速，另一个倍速，在常速和倍速下的转速都可以进行微调。
- 3) 单方向转动的单向电动机：只能顺时针或逆时针方向转动，一般电动机都是这种电动机。
- 4) 两个方向转动的双向电动机：能够正向转动，也可以反向转动。
- 5) 直流稳速电动机：按直流工作电压划分，有 6V、7.5V、9V、12V、15V 几种。
- 6) 按实现稳速的方式分有电子稳速电动机和机械稳速电动机两种，目前主要使用电子稳速电动机。

### 2. 石英晶振荡器种类

石英晶体振荡器（简称为晶振）分为非温度补偿式晶体振荡器、温度补偿晶体振荡器（TCXO）、电压控制晶体振荡器（VCXO）、恒温控制式晶体振荡器（OCXO）和数字化/ $\mu$ p 补偿式晶体振荡器（DCXO/MCXO）等。

- 1) 温度补偿晶体振荡器：是通过附加的温度补偿电路使由周围温度变化产生的振荡频率变化量削减的一种石英晶体振荡器。它又分为直接补偿型（由热敏电阻和阻容元件组成的温度补偿电路，在振荡器中与石英晶体振子串联而成）和间接补偿型（又分模拟式和数字式两种）。
- 2) 电压控制晶体振荡器：是通过施加外部控制电压使振荡频率可变或是可以调制的石英晶体振荡器。通常是通过调谐电压改变变容二极管的电容量来“牵引”石英晶体振子频率。



### 重要提示

PC 中还分为无源晶振 crystal（晶体）和有源晶振 oscillator（振荡器）两种类型。无源晶振是两根引脚的无极性元件，需要借助于时钟电路才能产生振荡信号，自身无法振荡起来。有源晶振有 4 只引脚，是一个完整的振荡器，其中除了石英晶体外，还有晶体管和阻容元件，体积较大。

### 3. 扬声器种类

扬声器种类较多，而且价格相差很大。

扬声器按照换能机理和结构划分有电动式（动圈式）、电磁式（舌簧式）、压电式（晶体式或陶瓷式）、静电式（电容式）、电离子式和气动式扬声器等，其中电动式扬声器由于具有电声性能



好、结构牢固、成本低等优点，被广泛应用于各种音响电器中。

按照工作频率划分有低音扬声器、中音扬声器和高音扬声器，有的还分成录音机专用、电视机专用、普通和高保真扬声器等。

扬声器按照纸盆形状划分有圆形、椭圆形、双纸盆扬声器等。

4. 传声器种类

传声器主要有电容式和电动式两大类。

(1) 电容式传声器。分为普通电容传声器和驻极体电容传声器。

(2) 电动式传声器。分为动圈式、带式等传声器。

5.2 数百种元器件电路符号大全速查平台

本节阅读建议

快速翻阅，速查速用。



重要提示

这个元器件电路符号速查平台供电路分析中查询元器件的电路符号，如果连电路图中的元器件符号都不明白其含义，那电路分析肯定是不行的。

★5.2.1 电阻器和熔断电阻器电路符号

1. 普通电阻器电路符号

图 5-7 所示是普通电阻器新电路符号。

图 5-8 所示是另两种电阻器旧电路符号。

2. 标注额定功率的电阻器电路符号（见图 5-9）

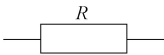


图 5-7 普通电阻器新电路符号

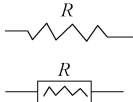


图 5-8 电阻器旧电路符号

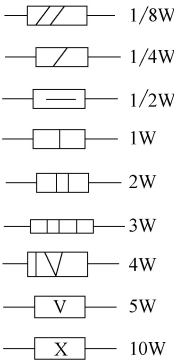


图 5-9 标注额定功率的电阻器电路符号

3. 熔断电阻器电路符号

目前熔断电阻器电路符号还没有统一规定，各公司有自己的规定。熔断电阻器在电路中用 R 表示。

图 5-10 所示是熔断电阻器通用的电路符号，但是在电路图中不常见到。

图 5-11 所示是日本夏普公司熔断电阻器电路符号，R 表示电阻器，用 Fusible 表示熔断电阻器。

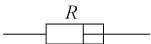


图 5-10 熔断电阻器通用的电路符号

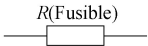


图 5-11 日本夏普公司熔断电阻器电路符号





图 5-12 所示是日本日立公司两种熔断电阻器电路符号。

图 5-13 所示是日本胜利公司、东芝公司熔断电阻器电路符号，电路符号中用一个熔断器符号形象地表示这种电阻器具有熔断丝的功能。

图 5-14 所示是日本松下公司、三洋公司熔断电阻器电路符号，电路符号中有熔断丝的标记。

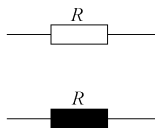


图 5-12 日本日立公司熔断电阻器电路符号

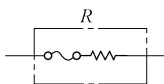


图 5-13 日本胜利公司、东芝公司熔断电阻器电路符号

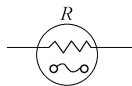


图 5-14 日本松下公司、三洋公司熔断电阻器电路符号

图 5-15 所示是熔断电阻器国内常用电路符号。

## ★5.2.2 可变电阻器和电位器电路符号

1. 可变电阻器电路符号（见图 5-16）
2. 可变电阻器旧电路符号（见图 5-17、图 5-18）

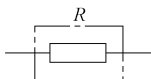


图 5-15 熔断电阻器国内常用电路符号

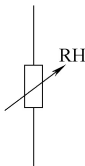


图 5-16 可变电阻器电路符号



图 5-17 可变电阻器旧电路符号

3. 电位器一般电路符号（见图 5-19）
4. 带开关电位器电路符号（见图 5-20， $S_1$  是附在 RP 上的开关）

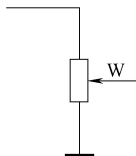


图 5-18 可变电阻器用做电位器时电路符号

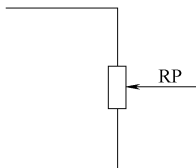


图 5-19 电位器一般电路符号

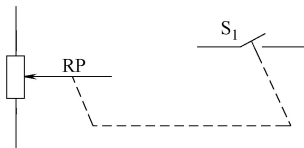


图 5-20 带开关电位器电路符号

5. 作为可变电阻器时电位器电路符号（见图 5-21）
6. 双联同轴电位器电路符号（见图 5-22）
7. 半有效电气行程电位器电路符号（见图 5-23）
8. 带中心抽头电位器电路符号（见图 5-24）

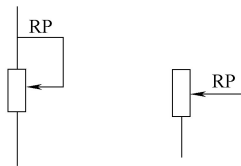


图 5-21 电位器作为可变电阻器使用时的电路符号

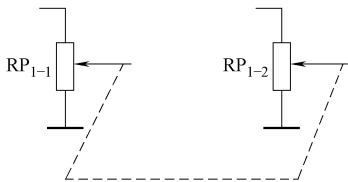


图 5-22 双联同轴电位器电路符号

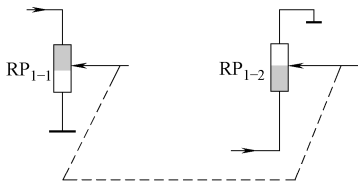


图 5-23 半有效电气行程电位器电路符号

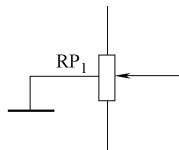


图 5-24 带中心抽头电位器电路符号

★5.2.3 敏感电阻器和排阻电路符号

- 1. 热敏电阻器电路符号 (见图 5-25)
- 2. 压敏电阻器电路符号 (见图 5-26、图 5-27)

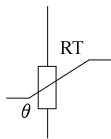


图 5-25 热敏电阻器电路符号

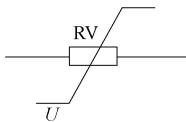


图 5-26 压敏电阻器新电路符号

- 3. 光敏电阻器电路符号 (见图 5-28)

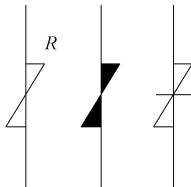


图 5-27 压敏电阻器其他的旧电路符号

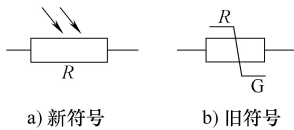


图 5-28 光敏电阻器电路符号

- 4. 湿敏电阻器电路符号 (见图 5-29、图 5-30)

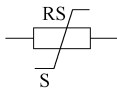


图 5-29 湿敏电阻器电路符号

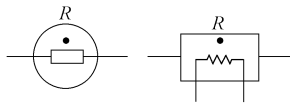
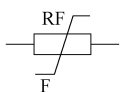
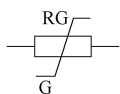
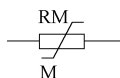
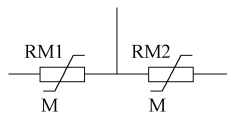


图 5-30 另两种湿敏电阻器电路符号

- 5. 力敏电阻器电路符号 (见图 5-31)



6. 气敏电阻器电路符号 (见图 5-32)
7. 磁敏电阻器电路符号 (见图 5-33、图 5-34)

图 5-31 力敏电阻器  
电路符号图 5-32 气敏电阻器  
电路符号图 5-33 两根引脚磁  
敏电阻器电路符号图 5-34 三根引脚磁  
敏电阻器的电路符号

8. 排阻电路符号 (见图 5-35)

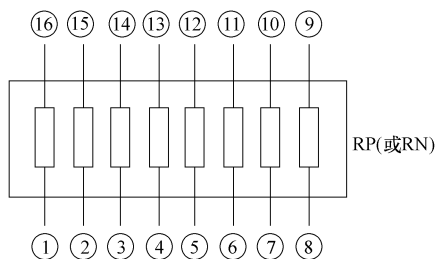
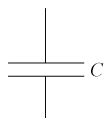
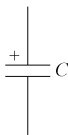
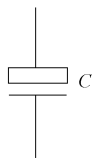
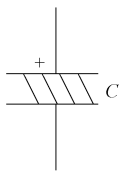
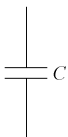
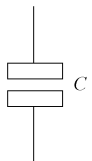


图 5-35 排阻电路符号

#### ★5.2.4 电容器、可变电容器和微调电容器电路符号

1. 普通电容器电路符号识图信息 (见图 5-36)
2. 电解电容器电路符号 (见图 5-37 ~ 图 5-41)

图 5-36 电容器一般  
电路符号图 5-37 有极性电解电容器  
新电路符号 (+ 为正极)图 5-38 有极性电解电容器  
旧电路符号 (上端为正极)图 5-39 国外有极性电解  
电容器电路符号图 5-40 无极性电解电  
容器新电路符号图 5-41 国外电解无极性  
电容器电路符号

3. 单联可变电容器电路符号 (见图 5-42)
4. 双联可变电容器电路符号 (见图 5-43)
5. 四联可变电容器电路符号 (见图 5-44)
6. 微调电容器电路符号 (见图 5-45)

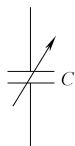


图 5-42 单联可变电容器电路符号

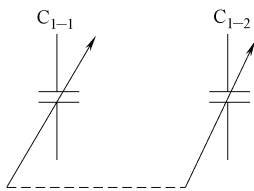


图 5-43 双联可变电容器电路符号

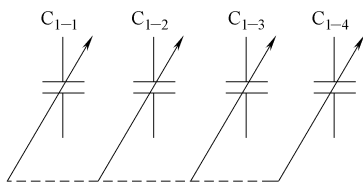


图 5-44 四联可变电容器电路符号

### ★5.2.5 电感器电路符号

1. 通常电感器电路符号（见图 5-46）
2. 有磁心或铁心电感器电路符号（见图 5-47）

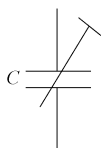


图 5-45 微调电容器电路符号

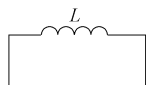


图 5-46 电感器新电路符号



图 5-47 有磁心或铁心电感器电路符号

3. 有高频磁心电感器电路符号

如图 5-48 所示是有高频磁心电感器电路符号，这是过去表示有高频磁心的电感器电路符号，用虚线表示高频磁心，现在用实线表示有磁心或铁心而不分高频和低频。现有的一些电路图中还会见到这种电感器电路符号。

4. 磁心中有间隙电感器电路符号

如图 5-49 所示是磁心中有间隙电感器电路符号，它的磁心中有间隙。

5. 微调电感电路符号（见图 5-50）

6. 无磁心有抽头电感器电路符号（见图 5-51）



图 5-48 高频磁心电感器电路符号

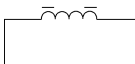


图 5-49 磁心中有间隙电感器电路符号

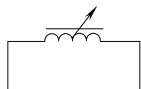


图 5-50 微调电感电路符号



图 5-51 无磁心有抽头电感器电路符号

### ★5.2.6 变压器电路符号

1. 双绕组变压器一般电路符号（见图 5-52）
2. 三绕组变压器电路符号（见图 5-53）
3. 有同名端标记的变压器电路符号

如图 5-54 所示是有同名端标记的变压器电路符号，一次绕组和二次绕组一端画有黑点，是同名端的标记，表示有黑点端的电压极性相同，同名端点的电压同时增大，同时减小。

4. 变压器电路符号（见图 5-55）
5. 二次绕组有抽头变压器电路符号（见图 5-56）
6. 一次有绕组抽头变压器电路符号

如图 5-57 所示是有一次绕组抽头变压器电路符号，一次绕组有一个抽头 2，可以输入不同电压大小的交流电。

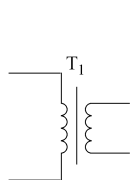


图 5-52 变压器一般电路符号

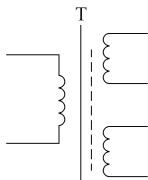


图 5-53 三绕组变压器电路符号

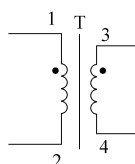


图 5-54 有同名端标记的变压器电路符号

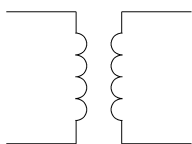


图 5-55 变压器电路符号

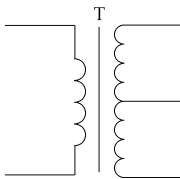


图 5-56 二次绕组有抽头变压器电路符号

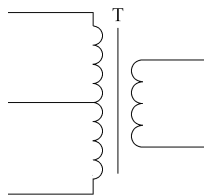


图 5-57 一次绕组有抽头变压器电路符号

### 7. 自耦变压器电路符号

如图 5-58 所示是自耦变压器电路符号, 这种变压器只有一个绕组。

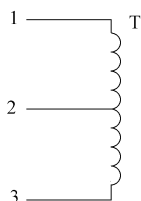


图 5-58 自耦变压器电路符号

## ★5.2.7 二极管电路符号

### 1. 普通二极管电路符号 (见图 5-59)

### 2. 旧二极管电路符号 (见图 5-60)



图 5-59 普通二极管标准电路符号



图 5-60 旧二极管电路符号

### 3. 普通发光二极管电路符号 (见图 5-61)

### 4. 多色发光二极管电路符号 (见图 5-62、图 5-63)

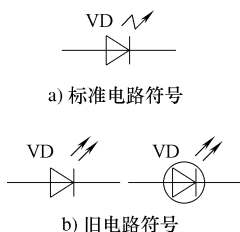


图 5-61 发光二极管电路符号

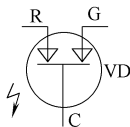


图 5-62 三色发光二极管电路符号 (三根引脚)

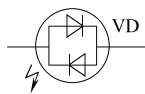


图 5-63 双色发光二极管电路符号 (两根引脚)

### 5. 光敏二极管电路符号 (见图 5-64)

### 6. 稳压二极管电路符号 (见图 5-65)

如图 5-66 所示是特殊稳压二极管电路符号, 对于两只逆串联特殊的稳压二极管, 在电路符号中也表示出了它们的内部电路结构, 这种稳压二极管有三根引脚。



## 7. 变容二极管电路符号 (见图 5-67)

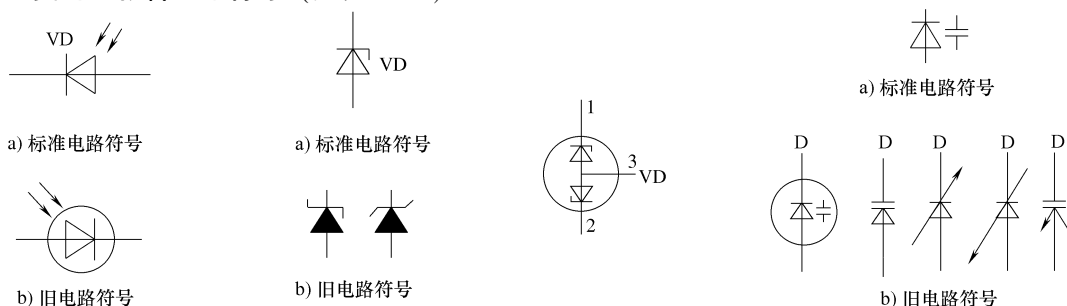


图 5-64 光敏二极管  
电路符号

图 5-65 稳压二极管  
电路符号

图 5-66 特殊稳压  
二极管电路符号

图 5-67 变容二极管  
电路符号

## 8. 双向触发二极管电路符号 (见图 5-68)

## 9. 瞬态电压抑制二极管电路符号 (见图 5-69)

## 10. 隧道二极管电路符号 (见图 5-70)

## 11. 双基极二极管电路符号 (见图 5-71)

## 12. 恒流二极管电路符号 (见图 5-72)

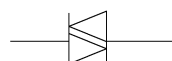


图 5-68 双向触发二极管电路符号

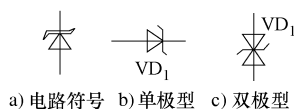


图 5-69 瞬态电压抑制  
二极管电路符号

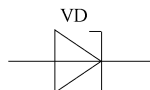


图 5-70 隧道二极管  
电路符号

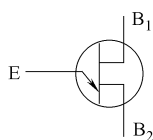


图 5-71 双基极二极  
管电路符号

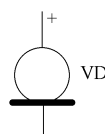


图 5-72 恒流二极  
管电路符号

## ★5.2.8 晶体管电路符号

## 1. NPN 型晶体管电路符号 (见图 5-73)

## 2. PNP 型晶体管电路符号 (见图 5-74)

## 3. 旧晶体管电路符号 (见图 5-75)

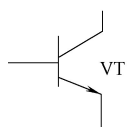


图 5-73 NPN 型晶体  
管电路符号

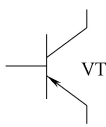


图 5-74 PNP 型晶体  
管电路符号

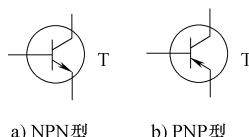


图 5-75 旧晶体管  
电路符号

## 4. NPN 型晶体管电路符号 (见图 5-76)

## 5. 光敏晶体管电路符号 (见图 5-77)

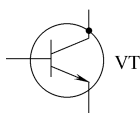


图 5-76 NPN 型晶体管 (集电极  
接管壳) 电路符号

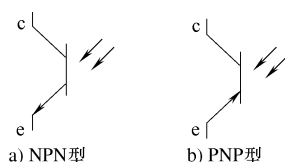


图 5-77 光敏晶体管  
电路符号



### ★5.2.9 集成电路和场效应晶体管电路符号

1. 集成电路电路符号 (见图 5-78)

2. N 型沟道结型场效应晶体管电路符号 (见图 5-79)

3. P 型沟道结型场效应晶体管电路符号 (见图 5-80)

4. 增强型 P 沟道绝缘栅场效应晶体管电路符号 (见图 5-81)

5. 增强型 N 沟道绝缘栅场效应晶体管电路符号 (见图 5-82)

6. 耗尽型 N 沟道绝缘栅场效应晶体管电路符号 (见图 5-83)

7. 耗尽型 P 沟道绝缘栅场效应晶体管电路符号 (见图 5-84)

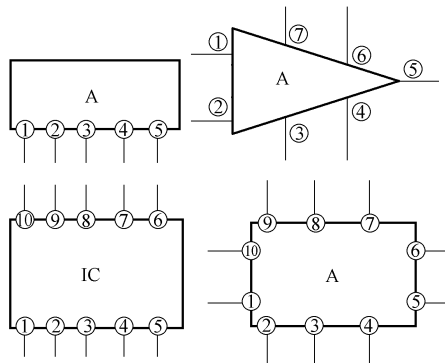


图 5-78 集成电路几种电路符号

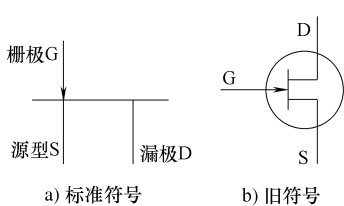


图 5-79 N 型沟道结型场效应晶体管电路符号

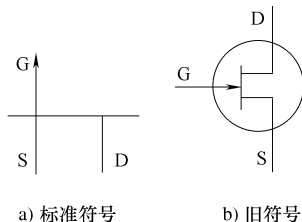


图 5-80 P 型沟道结型场效应晶体管电路符号

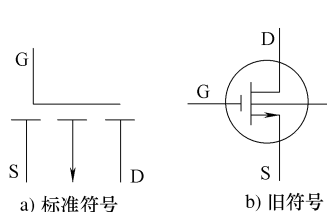


图 5-81 增强型 P 沟道绝缘栅场效应晶体管电路符号

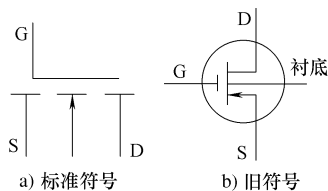


图 5-82 增强型 N 沟道绝缘栅场效应晶体管电路符号

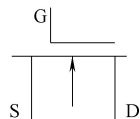


图 5-83 耗尽型 N 沟道绝缘栅场效应晶体管电路符号

8. 耗尽型双栅 N 沟道绝缘栅场效应晶体管电路符号 (见图 5-85)

9. N 沟道结型场效应晶体对管电路符号 (见图 5-86)

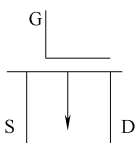


图 5-84 耗尽型 P 沟道绝缘栅场效应晶体管电路符号

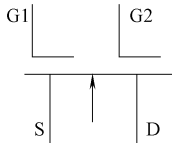


图 5-85 耗尽型双栅 N 沟道绝缘栅场效应晶体管电路符号

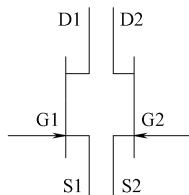


图 5-86 N 沟道结型场效应晶体对管电路符号

10. 场效应晶体管电路符号理解和记忆方法

从场效应晶体管的电路符号中可以看出多项识图信息, 如图 5-87 所示是场效应晶体管电路符

号理解和记忆方法说明。

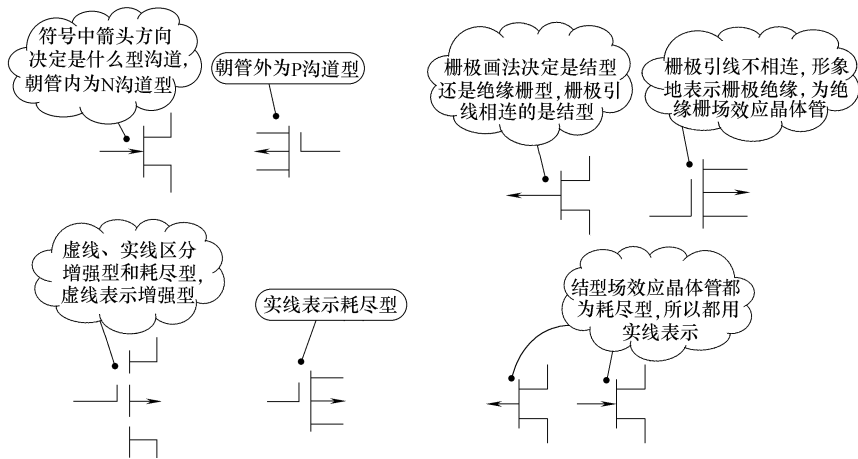


图 5-87 场效应晶体管电路符号理解和记忆方法

1) 两种栅极符号。如图 5-88 所示是两种栅极符号示意图，栅极符号的画法决定了是结型还是绝缘栅型场效应晶体管，相连的是结型，不相连的是绝缘栅型。

2) 箭头符号。如图 5-89 所示是箭头符号示意图，箭头方向在电路符号中用来表示沟道类型，箭头朝管内的是 N 沟道型，箭头朝管外的是 P 沟道型。

3) 实线和虚线符号。如图 5-90 所示是实线和虚线符号示意图，实线和虚线用来表示增强型还是耗尽型，实线表示耗尽型，虚线表示增强型。



图 5-88 两种栅极符号示意图



图 5-89 箭头符号示意图

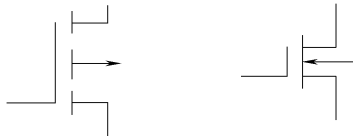


图 5-90 实线和虚线符号示意图

### ★5.2.10 电子管电路符号

1. 直热式二极管电子管电路符号（见图 5-91）
2. 旁热式二极管电路符号（见图 5-92）
3. 真空稳压二极管电路符号（见图 5-93）
4. 真空三极管电路符号（见图 5-94）

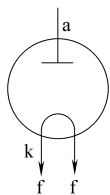


图 5-91 直热式二极管电子管电路符号  
a—屏极 k—阴极 f—灯丝

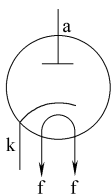


图 5-92 旁热式二极管电路符号

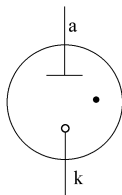


图 5-93 真空稳压二极管电路符号

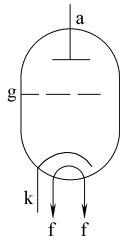


图 5-94 真空三极管电路符号  
g—栅极



5. 真空五极管电路符号 (见图 5-95)
6. 真空双三极管电路符号 (见图 5-96)

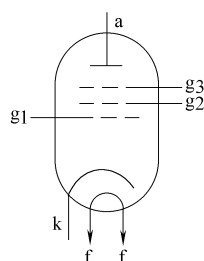


图 5-95 真空五极管电路符号  
g1—控制栅极 g2—帘栅极 g3—抑制栅极

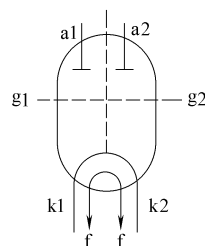


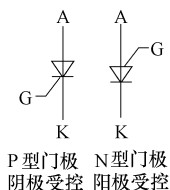
图 5-96 真空双三极管电路符号

### ★5.2.11 晶闸管电路符号

#### 1. 普通晶闸管电路符号

图 5-97 所示是晶闸管电路符号。现在规定用字母 VTH 或 VT 表示，还有的用 KP 等表示。晶闸管共有 3 个电极：阳极用字母 A 表示，阴极用字母 K 表示，门极用字母 G 表示。

2. 双向二极晶闸管电路符号 (见图 5-98)
3. 反向阻断二极晶闸管电路符号 (见图 5-99)
4. 反向导通二极晶闸管电路符号 (见图 5-100)



a) 标准电路符号 b) 旧电路符号

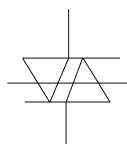


图 5-98 双向二极晶闸管电路符号

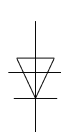


图 5-99 反向阻断二极晶闸管电路符号

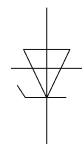


图 5-100 反向导通二极晶闸管电路符号

5. 三极晶闸管电路符号 (见图 5-101)
6. 门极关断三极晶闸管电路符号 (见图 5-102)
7. 逆导三极晶闸管电路符号 (见图 5-103)

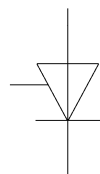
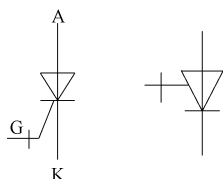
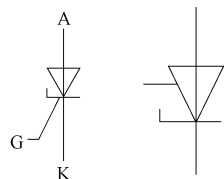


图 5-101 三极晶闸管电路符号



a) 阴极受控 b) 未指定门极

图 5-102 门极关断三极晶闸管电路符号



a) 阴极受控 b) 未指定门极

图 5-103 逆导三极晶闸管电路符号



- 8. 双向三极晶闸管电路符号 (见图 5-104)
- 9. 四极晶闸管电路符号 (见图 5-105)
- 10. BTG 晶闸管电路符号 (见图 5-106)
- 11. 温控晶闸管电路符号 (见图 5-107)
- 12. 光控晶闸管电路符号 (见图 5-108)
- 13. 晶闸管模块电路符号 (见图 5-109)

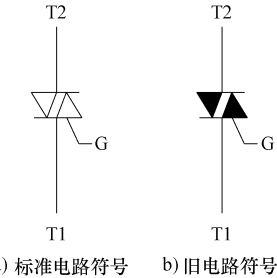


图 5-104 双向三极晶闸管电路符号

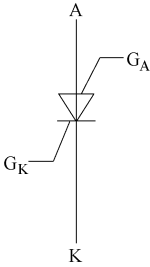


图 5-105 四极晶闸管电路符号

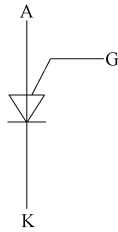


图 5-106 BTG 晶闸管电路符号

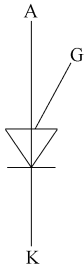


图 5-107 温控晶闸管电路符号

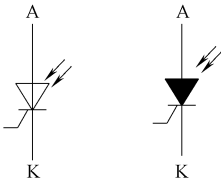


图 5-108 光控晶闸管电路符号

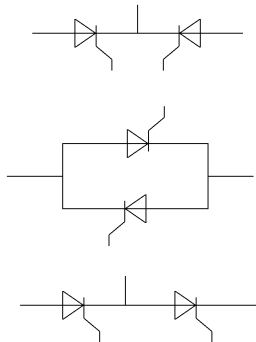


图 5-109 晶闸管模块电路符号

★5.2.12 石英晶体振荡器、滤波器、继电器和光耦合器电路符号

- 1. 石英晶体振荡器电路符号 (见图 5-110)
  - 2. 陶瓷滤波器电路符号
- 右侧的是输出端，中间是接地端。

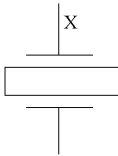


图 5-110 石英晶振电路符号

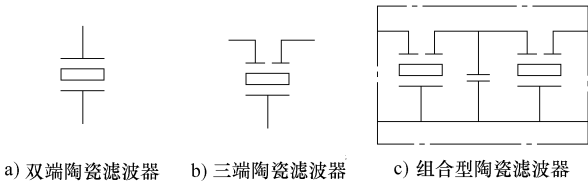


图 5-111 陶瓷滤波器电路符号  
左侧—输入端 右侧—输出端 中间—接地端

- 3. 声表面波滤波器电路符号

图 5-112 所示是表面波滤波器电路符号。声表面波滤波器输入回路有两根引脚，输出回路也有两根引脚。当有第五根引脚时，它是外壳的接地引脚。





#### 4. 继电器线圈电路符号 (见图 5-113)

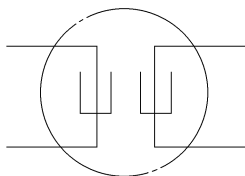


图 5-112 表面波滤波器电路符号

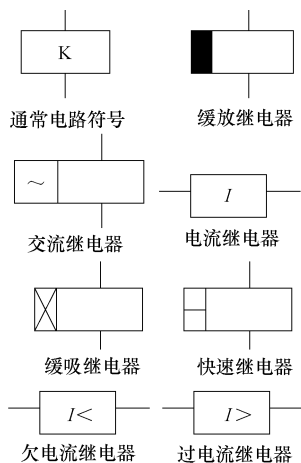


图 5-113 几种继电器线圈电路符号

#### 5. 继电器触点符号

1) 动断 (常闭或 b) 触点 (见图 5-114)

2) 动合 (常开或 a) 触点 (见图 5-115)

3) 转换型触点。图 5-116 所示是转换型触点示意图, 它用 Z 表示 (国外称 C 型)。一组中有 3 个触点, 一个动触点, 两个静触点。不通电时, 动触点和其中一个静触点断开和另一个闭合。通电后动触点移动, 原来断开的闭合, 原来闭合的断开。

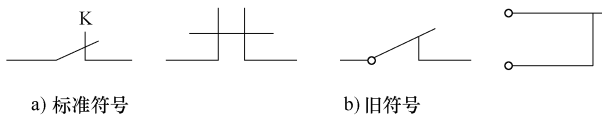


图 5-114 动断型触点示意图

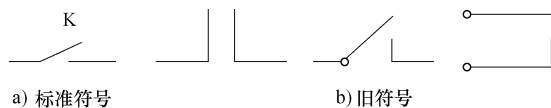


图 5-115 动合触点示意图

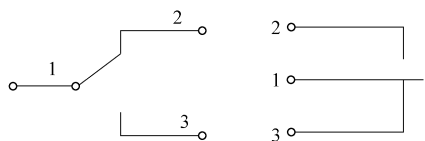


图 5-116 转换型触点示意图

#### 6. 继电器其他触点符号 (见图 5-117)

#### 7. 光耦合器电路符号 (见图 5-118)

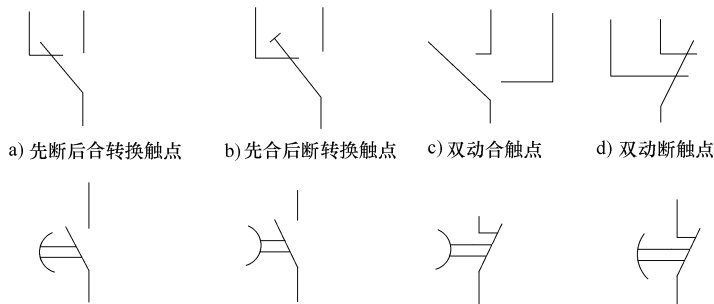


图 5-117 继电器其他触点符号

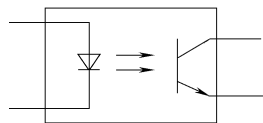


图 5-118 光耦合器电路符号



★5.2.13 直流有刷电动机、磁头和驻极体电容传声器电路符号

- 1. 直流有刷电动机电路符号 (见图 5-119)
- 2. 磁头电路符号 (见图 5-120)
- 3. 驻极体电容传声器电路符号 (见图 5-121)

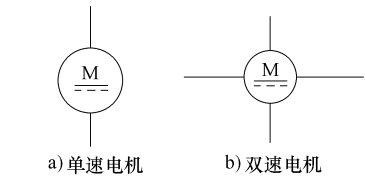


图 5-119 单速和双速电动机电路符号

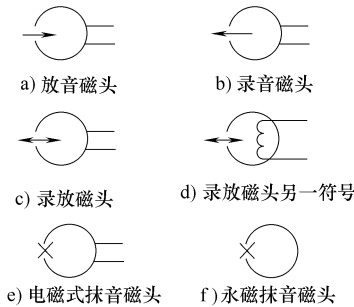


图 5-120 几种磁头电路符号

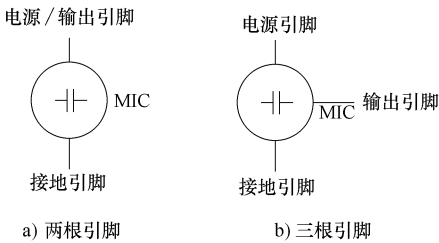


图 5-121 驻极体电容传声器电路符号

★5.2.14 扬声器、熔丝、硅电池和放大器电路符号

- 1. 扬声器电路符号 (见图 5-122)
- 2. 熔丝电路符号 (见图 5-123)
- 3. 硅电池电路符号 (见图 5-124)

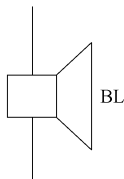


图 5-122 扬声器电路符号

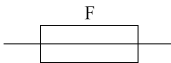


图 5-123 熔丝电路符号

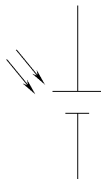


图 5-124 硅电池电路符号

- 4. 放大器一般电路符号 (见图 5-125)

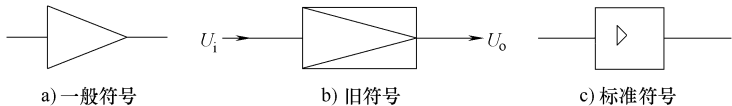


图 5-125 放大器的两种一般电路符号

- 5. 集成电路内电路中放大器电路符号 (见图 5-126)
- 6. 差分放大器电路符号 (见图 5-127)

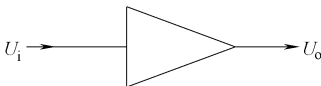


图 5-126 集成电路内电路中放大器电路符号

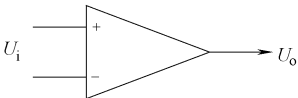


图 5-127 差分放大器电路符号



### ★5.2.15 数字器件电路符号

#### 1. 或门电路符号 (见图 5-128)

#### 2. 与门电路符号

如图 5-129 所示是与门电路符号, 从这一符号中可以知道与门电路中有几个输入端, 其输入端不少于两个。

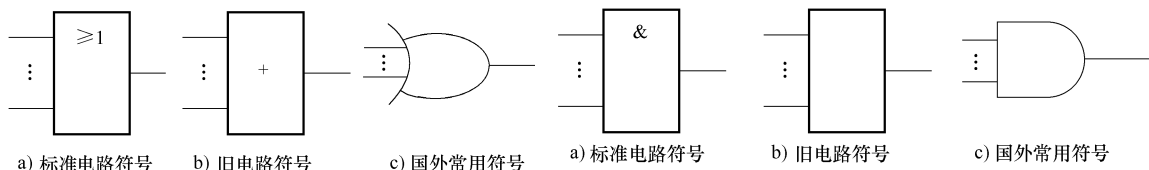


图 5-128 或门电路符号

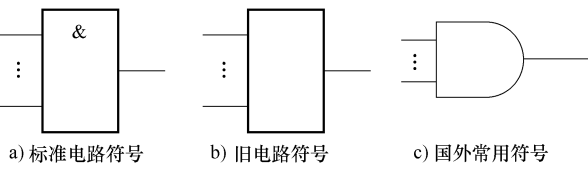


图 5-129 与门电路符号

#### 3. 非门电路符号 (见图 5-130)

#### 4. 与非门电路符号 (见图 5-131)

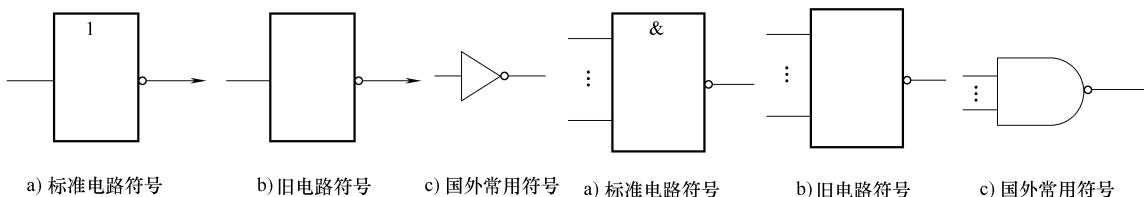


图 5-130 非门电路符号

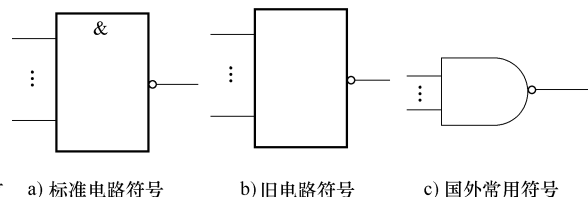


图 5-131 与非门电路符号

#### 5. 或非门电路符号 (见图 5-132)

#### 6. TTL 与扩展器电路符号 (见图 5-133)

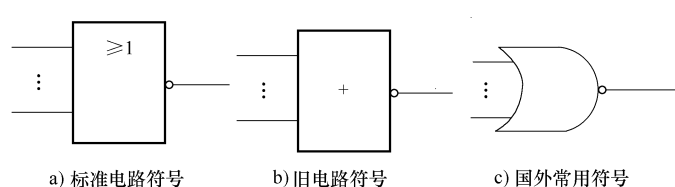


图 5-132 或非门电路符号

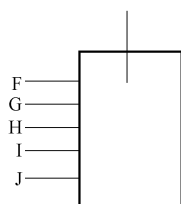


图 5-133 TTL 与扩展器电路符号

#### 7. 与或非门电路符号 (见图 5-134)

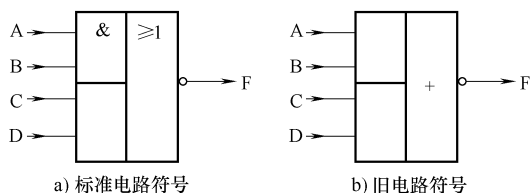


图 5-134 与或非门电路符号

#### 8. 异或门电路符号 (见图 5-135)

#### 9. OC 与非门电路符号 (见图 5-136)

#### 10. 三态门电路符号

如图 5-137 所示是三态门电路符号。三态门电路控制端对门电路控制状态有两种情况: 一是控制端为高电平 1 时, 门电路进入高阻状态, 此时的三态门电路符号如图 5-137a 所示, 控制端 C 上



有一个小圆圈。二是控制端为低电平 0 时，门电路进入高阻状态，此时三态门电路符号如图5-137b 所示，这时的三态门电路符号中控制端 C 上没有小圆圈，就是三态门电路。

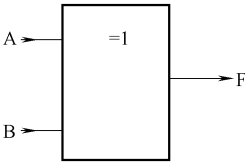


图 5-135 异或门电路符号 (有两个输入端，一个输出端)

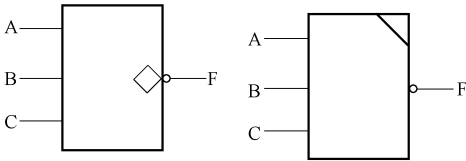


图 5-136 OC 与非门电路符号

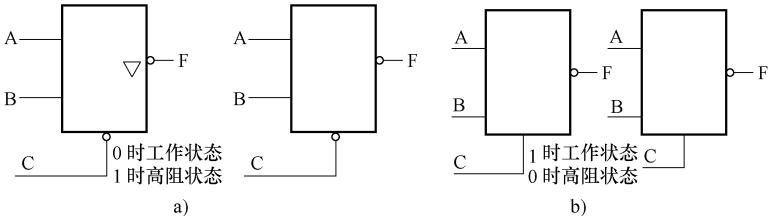


图 5-137 三态门电路符号

11. I<sup>2</sup>L 门电路符号 (见图 5-138)

12. CMOS 传输门电路符号 (见图 5-139)

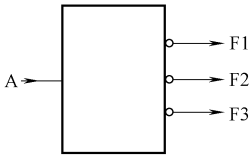


图 5-138 I<sup>2</sup>L 门电路符号

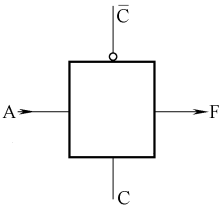


图 5-139 CMOS 传输门电路符号

13. RS 触发器电路符号

1) 与非门构成的基本 RS 触发器。如图 5-140 所示是使用与非门构成的基本 RS 触发器的电路符号，输入端的小圆圈表示这种触发器是低电平 0 触发。

2) 两个或非门组成的 RS 触发器。如图 5-141 所示是两个或非门组成的 RS 触发器电路符号。

14. 同步 RS 触发器的电路符号 (见图 5-142)

15. 主从触发器电路符号 (见图 5-143)

16. 主从 JK 触发器电路符号 (见图 5-144)

17. D 触发器电路符号 (见图 5-145)

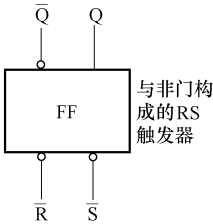


图 5-140 使用与非门构成的基本 RS 触发器的电路符号

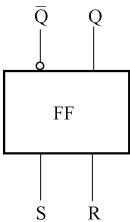


图 5-141 两个或非门组成的 RS 触发器电路符号

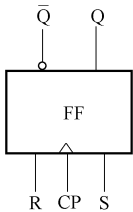


图 5-142 同步 RS 触发器的电路符号

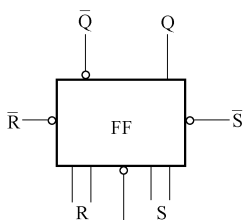


图 5-143 主从触发器电路符号

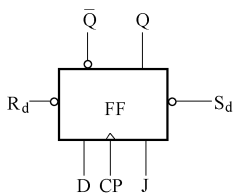


图 5-144 主从 JK 触发器电路符号

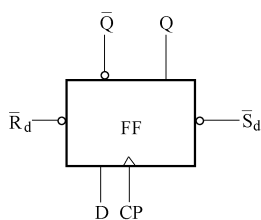


图 5-145 D 触发器电路符号

18. T 触发器电路符号 (见图 5-146)

19. T' 触发器电路符号 (见图 5-147)

20. 半加器电路符号 (见图 5-148)

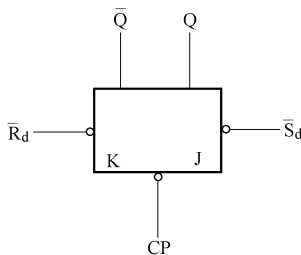


图 5-146 T 触发器电路符号

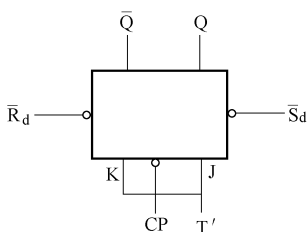


图 5-147 T' 触发器电路符号

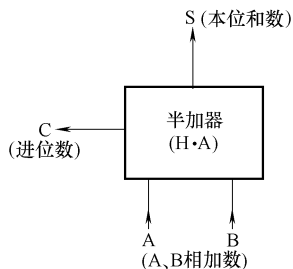


图 5-148 半加器电路符号

21. 全加器电路符号 (见图 5-149)

22. 数据分配器电路符号 (见图 5-150)

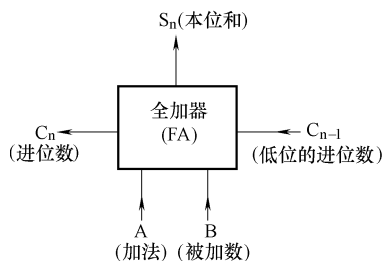


图 5-149 全加器电路符号

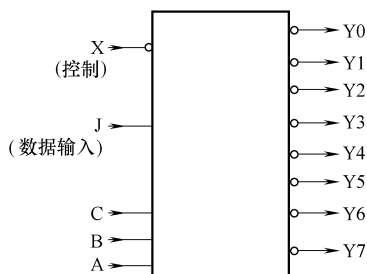


图 5-150 数据分配器电路符号



### 史上元器件发明小传记

#### 1. 布雷德利与世界上首个电阻器

请记住伟大的电阻器发明人：1885 年英国人布雷德利发明了世界上首个电阻器，称之为模压碳质实心电阻器，之后 1897 年发明了碳膜电阻器，金属膜电阻器是 1913 年发明的。

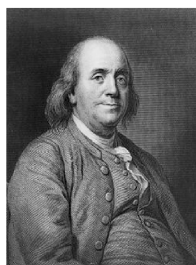
#### 2. 马森布洛克与他的莱顿瓶 (电容器)

如图 5-151 所示是荷兰物理学家马森布洛克。

1745 ~ 1746 年间，荷兰物理学家马森布洛克试图使电能储藏在装水的瓶子中。图 5-152 所示为马森布洛克与他的心爱的莱顿瓶 (实验装置)。

他将一根铁棒用两根丝线悬挂在空中，用起电机与铁棒相连。再用一根铜钱从铁棒引出，浸在一个盛有水的玻璃瓶中，他的助手一手握住玻璃瓶，马森布洛克在旁使劲摇动起电机。突然，他的助手不禁喊叫起来，原来他不小心另一只手碰到铁棒，他猛然感到一次强烈的打击。





荷兰物理学家马森布洛克  
(p. V. musschenbroek, 1696-1761)

图 5-151 荷兰物理学家马森布洛克

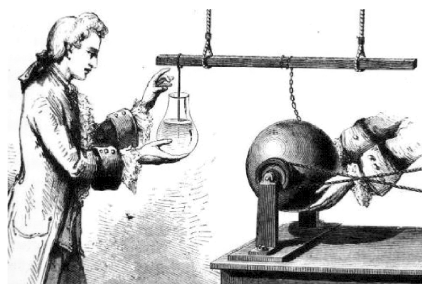


图 5-152 马森布洛克与他的心爱的莱顿瓶

于是马森布洛克与助手互换了一下，重复上述实验。他的右手托住水瓶子，左手去碰铁棒，这时他也“好像受了一次雷击那样”。他由此得出结论，把带电体放在玻璃瓶内可以把电保存下来。

不久，对莱顿瓶进行了改进，积聚起相当多的电荷，当莱顿瓶放电时可以通过相当大的电流。

莱顿瓶的发明，为科学界提供了一种储存电的有效方法，为进一步深入研究电现象提供了一种新的强有力的手段，对电知识的传播与发展起了重要作用。

### 3. 克尔·法拉第与他的变压器

如图 5-153 所示是英国物理学家、化学家克尔·法拉第。

1831 年 8 月 29 日，图 5-154 所示是法拉第当时采用的实验装置，进行磁生电的实验。实验时，当合上开关后，法拉第发现检流器摆动，这说明线圈 B 和检流器中有电流流过。法拉第通过这个实验发现了电磁感应现象。

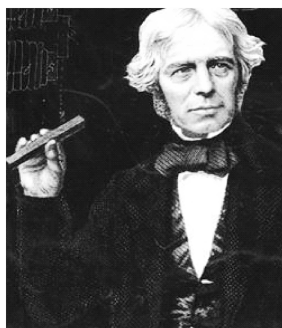


图 5-153 英国物理学家、化学家克尔·法拉第  
(Michael Faraday, 1791—1867)

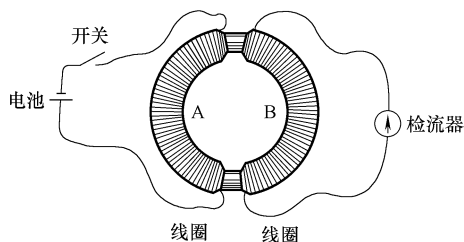


图 5-154 法拉第当时采用的实验装置

同年 11 月 24 日，法拉第向英国皇家学会报告了他的实验及其发现，从而使法拉第被公认为电磁感应现象的发现者，他也顺理成章地成为变压器的发明人。

### 4. 弗莱明博士与他的真空二极管

如图 5-155 所示是伟人弗莱明博士。

真空二极管的发明与“爱迪生效应”相关哦。

人类史上最伟大的美国发明家爱迪生，他的“爱迪生效应”发明专利是真空二极管的发明的基础。

1883 年，爱迪生为寻找电灯泡最佳灯丝材料时做了一项小小的实验，实验结果让爱迪生大失所望，但是无意中他发现了一个现象：实验装置中，没有连接在电路里的铜丝，却因接收到碳丝发



射的热电子而产生了微弱的电流。爱迪生并没有深入研究产生这个现象的原因，但是发明家的敏感性促使他预料到了这个现象日后的重大应用，于是他立即申报了专利，这就是“爱迪生效应”的发明专利。

“爱迪生效应”专利惊动了大洋彼岸的30岁的英国电气工程师弗莱明。1885年，这位年青人坚持地认为，一定可以为“爱迪生效应”找到实际用途。历经无数次试验，他终于发明了图5-156所示的人类最早的真空二极管。



图 5-155 英国电气工程师约翰·安布罗斯·弗莱明 (John Ambrose Fleming) 博士 (1864—1945)

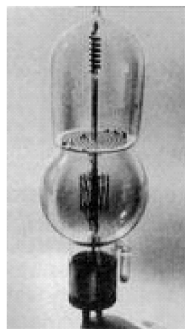


图 5-156 人类最早的真空二极管

早期的真空二极管由于管内存在稀薄的空气，工作时发出蓝色辉光，如图5-157所示。

图5-158所示是现代真空二极管，我们对比一下这两款真空二极管，从外形和内容结构上都没有本质性变化，可见伟大的发明其生命力的持久。



图 5-157 早期真空二极管



图 5-158 现代真空二极管

1904年，弗莱明研制出一种能够充当交流电整流和无线电检波的特殊灯泡（现在人们有时还戏称电子管为小灯泡）——“热离子阀”，从而催生了世界上第一只电子管，也就是人们所说的真空二极管。人类首款真空二极管用作为阴极，用铜板作为屏极，灯泡里的电子就能实现单向流动，这就是二极管所需要的特性。

#### 生平提示

英国电气工程师、物理学家弗莱明发现右手定则、发明二极管、真空二极管而闻名。膝下无子女，死后将大部分不动产捐给基督教慈善机构，用于帮助穷人。

#### 5. 德·福雷斯特博士与他的真空三极管

图5-159所示是开创电子放大技术伟业的科学家德·福雷斯特。1906年，德福雷斯特制成世界上第一个真空三极管，称为奥迪恩管。

在真空二极管发明的同一时期，德·福雷斯特在研究他的检测器，经过3年的不断试验，德·福雷斯特终于发明了一种“气全检波器”，并于1903年在舰船无线电通信中试用，获得了相当的

成功。但是,这种“气全检波器”由于工作过程中需要火焰,使用真是不太方便,就在这时传来了真空二极管的发明。

德·福雷斯特为了提高真空二极管检波灵敏度,在玻璃管内添加了一种栅栏式的金属网,形成电子管的第三个极,就是栅极。他惊讶地发现,这个“栅极”仿佛就像百叶窗,能控制阴极与屏极之间的电子流。只要栅极有微弱电流通过,就可在屏极上获得较大的电流,而且波形与栅极电流完全一致,这就是现在真空三极管的工作特性。在弗莱明的真空二极管中增加了一个电极——栅极,一项全新的伟大发明诞生了,即能够放大电信号新器件,他把这个新器件命名为三极管(Triode),称为奥迪恩管。图5-160所示是德·福雷斯特发明的真空三极管。

真空三极管的发明,开创了人类电信号放大的崭新时代,这对人类电信号放大技术所起的作用无法估量。

在福雷斯特真空三极管研究成功后,经过改进还制成了真空四极管(Tetrode)和真空五极管(Pentode)等,这些统称为电子管。

日本的一位科技传记作家指出:“真空三极管的发明,像升起了一颗信号弹,使全世界科学家都争先恐后地朝这个方向去研究。因此,在一个不长的时期里,电子器件获得了惊人的发展。”

#### 生平提示

1873年8月26日生于美国依阿华州康斯尔布拉夫斯,1896年毕业于耶鲁大学谢菲尔德技术学院。1899年在耶鲁大学获物理学博士学位,1961年6月30日卒于加利福尼亚的好莱坞。

德·福雷斯特一生共获300多项专利。这些专利涉及电子学的广泛领域,如外科手术用射频电刀、高频反馈电路、无线电报、无线电发信系统、无线电接收系统、扬声器、光电池、无线电扫描电视系统、彩色电视、电子群聚方法等。

在电子学的发展史上,奥迪恩管的发明具有划时代的意义。德福雷斯特曾获美国无线电工程师学会荣誉奖章等多种荣誉奖励。

### 6. 晶体管发明史

早在20世纪30年代,从事电话业务的企业就希望能有一种电子器件,它能够取代真空三极管,因为真空三极管有许多令人头痛的缺点。

当时贝尔实验室主任Kelly根据19世纪以来关于半导体在光照下能产生电流,以及它和金属接触能起到整流和检波的作用的现象,认为半导体有希望取代电子管。从1936年起开始招聘有关的尖端人才,组成研究小组。那时肖克莱和布莱顿都是其中的成员。

1945年成立固体物理研究小组,由肖克莱任组长。肖克莱上任后做的第一件事就是聘用巴丁和其他一些科学家。

他们在一系列的实验中不断取得新发现。布莱顿在做实验时,发现金粒与半导体之间的电阻很小,两者几乎形成短路,即氧化层没有起绝缘作用。而当布莱顿在金粒和钨丝加上负电压后,发现没有输出信号。

激动人心的时刻到来了,布莱顿将钨丝电极移到金粒的旁边,加上负电压,而在金粒上加了正电压,突然间,在输出端出现和输入端变化相反的信号,巴丁和布莱顿立刻意识到一个历史性的新纪元开始了。

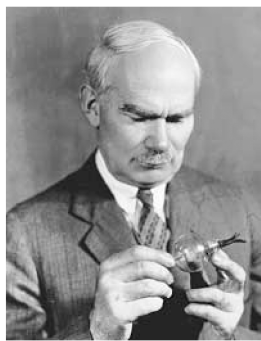


图5-159 美国科学家德·福雷斯特  
(Lee de Forest, 1873—1961)

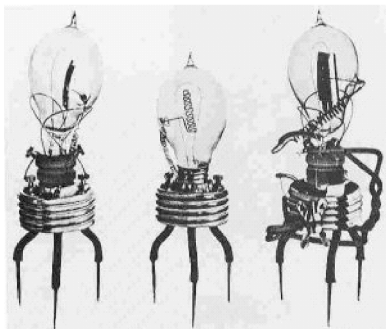


图5-160 德·福雷斯特发明的真空三极管



根据记录,晶体管的发明时间应该是 1947 年 12 月 15 日,根据小组成员对这项工作的贡献大小,推举巴丁和布莱顿为发明人,如图 5-161 所示。考虑肖克莱在发明前后对晶体管理论的研究成就,他和巴丁·布莱顿三人共同获得 1956 年诺贝尔物理学奖。

### 7. 世界上第一台电子计算机

世界上第一台电子计算机在 1946 年 2 月 14 日问世,如图 5-162 所示。它叫埃尼阿克 (Elec tronic Numerical Integrator And Computer, ENIAC)。由美国宾夕法尼亚大学莫希利和埃克特领导的研究团队研制成功。它由 17468 个真空管、7 万个电阻器、1 万个电容器和 6 千个开关组成。ENIAC 重达 30t,占地 170m<sup>2</sup>,耗电量 150kW。

### 8. 世界上第一个鼠标

1968 年 12 月 9 日,美国史丹福大学道格·恩格尔巴特 (Doug Engelbart) 博士展示了世界上第一个鼠标,如图 5-163 所示。那是一个木质的小盒子,只有一个鲜艳的按钮。它的工作原理是由滚轮带动轴旋转,并使变阻器改变阻值,阻值的变化就产生了位移信号,经电脑处理后屏幕上指示位置的光标就可以移动了。



图 5-161 巴丁和布莱顿

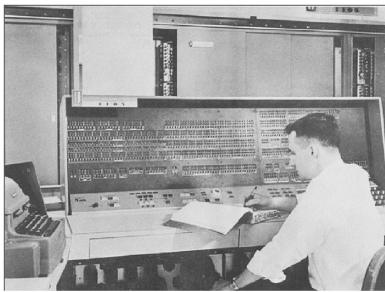


图 5-162 世界上第一台电子计算机

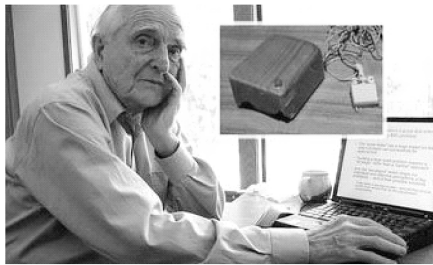


图 5-163 世界上第一个鼠标

1981 年第一只商业化鼠标诞生,1983 年罗技公司发明了第一只光学机械式鼠标,1999 年安捷伦 [Aeilent, 后改组为安华高 (Avago)] 公司发布了 IntelliEye 光学引擎,光电鼠标的普及由此开始。2003 年罗技公司与微软公司分别推出以蓝牙微通信协定的蓝牙鼠标,2005 年罗技公司与安华高公司合作推出第一款激光鼠标 (无线,可充电),2006 年第一只克服玻璃障碍的有线雷射鼠标问世,2006 年蓝牙雷射鼠标问世。

阅读完成时间: \_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日,用时\_\_\_\_天。

签 名: \_\_\_\_\_

阅读体会: (请写 10 个收获最大的知识点关键词)

阅读困惑: (请写 10 个最难理解的知识点关键词)





第6章

百种元器件型号命名方法、结构和内电路快速查询平台

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日  
本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！

6.1 元器件型号命名方法查询平台

本节阅读建议：快速阅读，全面了解诸多元器件型号含义，学会使用查询平台。  
本节难度系数：2级。  
本节记忆系数：4级。

**重要提示**  
元器件型号命名方法有国标做出规定，对于一些新型元器件则有厂标。  
在元器件应用技术中时常需要了解元器件的型号，如进行电路设计时需要了解元器件的型号。

★6.1.1 国产电阻器型号命名方法

- 1. 电阻器型号组成示意图  
如图 6-1 所示是国产电阻器型号组成示意图。
- 2. 国产电阻器的型号命名方法  
表 6-1 是国产电阻器型号命名方法。
- 3. 举例说明  
如图 6-2 所示是型号识别实例示意图。

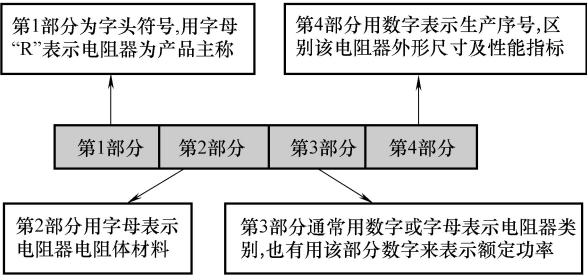


图 6-1 国产电阻器型号组成示意图

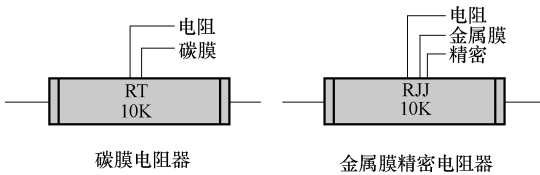


图 6-2 型号识别实例示意图



表 6-1 国产电阻器型号命名方法

| 第一部分<br>主 称 |     | 第二部分<br>电阻体材料 |         | 第三部分<br>类别或额定功率 |           |       |      | 第四部分<br>序 号        |
|-------------|-----|---------------|---------|-----------------|-----------|-------|------|--------------------|
| 字母          | 含义  | 字母            | 含义      | 数字或字母           | 含义        | 数字    | 额定功率 |                    |
| R           | 电阻器 | C             | 沉积膜或高频瓷 | 1               | 普通        | 0.125 | 1/8W | 用个位数<br>或无数字<br>表示 |
|             |     |               |         | 2               | 普通或阻燃     |       |      |                    |
|             |     | F             | 复合膜     | 3 或 C           | 超高频       | 0.25  | 1/4W |                    |
|             |     | H             | 合成碳膜    | 4               | 高阻        |       |      |                    |
|             |     | I             | 玻璃釉膜    | 5               | 高温        | 0.5   | 1/2W |                    |
|             |     | J             | 金属膜     | 7 或 J           | 精密        |       |      |                    |
|             |     | N             | 无机实心    | 8               | 高压        | 1     | 1W   |                    |
|             |     | S             | 有机实心    | 9               | 特殊(如熔断型等) |       |      |                    |
|             |     | T             | 碳膜      | G               | 高功率       | 2     | 2W   |                    |
|             |     | U             | 硅碳膜     | L               | 测量        |       |      |                    |
|             |     | X             | 线绕      | T               | 可调        | 3     | 3W   |                    |
|             |     | Y             | 氧化膜     | X               | 小型        |       |      |                    |
|             |     |               |         | C               | 防潮        | 5     | 5W   |                    |
|             |     | O             | 玻璃膜     | Y               | 被釉        |       |      |                    |
| B           | 不燃性 |               |         | 10              | 10W       |       |      |                    |

### ★6.1.2 贴片电阻器型号命名方法

表 6-2 是贴片电阻器型号命名方法。

表 6-2 贴片电阻器型号命名方法

| 产品代号 |                                                                                 | 型号 |      | 电阻温度系数 |                                                | 阻值   |                        | 电阻值误差 |           | 包装方法 |            |  |
|------|---------------------------------------------------------------------------------|----|------|--------|------------------------------------------------|------|------------------------|-------|-----------|------|------------|--|
| RC   | 片状电阻器                                                                           | 代号 | 型号   | 代号     | T. C. R                                        | 表示方式 | 阻值                     | 代号    | 误差值       | 代号   | 包装方式       |  |
|      |                                                                                 | 02 | 0402 | K      | $\leq \pm 100 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ | E-24 | 前两位表示有效数字<br>第三位表示零的个数 | F     | $\pm 1\%$ | T    | 编带包装       |  |
|      |                                                                                 | 03 | 0603 | L      | $\leq \pm 250 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ |      |                        | G     | $\pm 2\%$ |      |            |  |
|      |                                                                                 | 05 | 0805 | U      | $\leq \pm 400 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ | E-96 | 前三位表示有效数字<br>第四位表示零的个数 | J     | $\pm 5\%$ | B    | 塑料盒<br>散包装 |  |
|      |                                                                                 | 06 | 1206 | M      | $\leq \pm 500 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ |      |                        | 0     | 跨接电阻      |      |            |  |
| 示例   | RC                                                                              | 05 |      | K      |                                                | 103  |                        | J     |           |      |            |  |
| 备注   | 小数点用 R 表示例如: E-24: 1R0 = 1.0Ω, 103 = 10kΩ<br>E-96: 1003 = 100kΩ ; 跨接电阻采用“000”表示 |    |      |        |                                                |      |                        |       |           |      |            |  |

### ★6.1.3 热敏电阻器型号命名方法

表 6-3 是新标准热敏电阻器型号命名方法。

表 6-3 新标准热敏电阻器型号命名方法

| 第一部分:主称 |       | 第二部分:类别 |            | 第三部分:用途或特征 |       | 第四部分:序号                    |
|---------|-------|---------|------------|------------|-------|----------------------------|
| 字母      | 含义    | 字母      | 含义         | 数字         | 含义    |                            |
| M       | 敏感电阻器 | Z       | 正温度系数热敏电阻器 | 1          | 普通型   | 用数字或字母与数字混合表示序号,代表着某种规格、性能 |
|         |       |         |            | 5          | 测温用   |                            |
|         |       |         |            | 6          | 温度控制用 |                            |
|         |       |         |            | 7          | 消磁用   |                            |
|         |       |         |            | 9          | 恒温型   |                            |
|         |       | F       | 负温度系数热敏电阻器 | 0          | 特殊型   |                            |
|         |       |         |            | 1          | 普通型   |                            |
|         |       |         |            | 2          | 稳压用   |                            |
|         |       |         |            | 3          | 微波测量用 |                            |
|         |       |         |            | 4          | 旁热式   |                            |
|         |       |         |            | 5          | 测温用   |                            |
|         |       |         |            | 6          | 控制温度用 |                            |
|         |       |         |            | 8          | 线性型   |                            |
|         |       |         |            |            |       |                            |

如图 6-3 所示是采用新标准标注的热敏电阻器实物图。其中，MF72 为消磁型的负温度系数热敏电阻器，MZ1 为普通型正温度系数热敏电阻器。

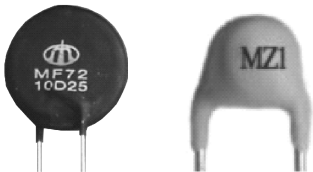


图 6-3 采用新标准标注的热敏电阻器

★6.1.4 压敏电阻器型号命名方法

表 6-4 是压敏电阻器型号命名方法，通过这个表可以了解各种压敏电阻器。

表 6-4 压敏电阻器型号命名方法

| 第一部分:主称 |       | 第二部分:类别 |       | 第三部分:用途或特征 |        | 第四部分:序号                        |
|---------|-------|---------|-------|------------|--------|--------------------------------|
| 字母      | 含义    | 字母      | 含义    | 数字         | 含义     |                                |
| M       | 敏感电阻器 | Y       | 压敏电阻器 | 无          | 普通型    | 用数字表示序号,有的在序号的后面还标有标称电压、电压误差等。 |
|         |       |         |       | D          | 通用     |                                |
|         |       |         |       | B          | 补偿用    |                                |
|         |       |         |       | C          | 消磁用    |                                |
|         |       |         |       | E          | 降噪用    |                                |
|         |       |         |       | G          | 过压保护用  |                                |
|         |       |         |       | H          | 灭弧用    |                                |
|         |       |         |       | K          | 高可靠用   |                                |
|         |       |         |       | L          | 防雷用    |                                |
|         |       |         |       | M          | 防静电用   |                                |
|         |       |         |       | N          | 高能型    |                                |
|         |       |         |       | P          | 高频用    |                                |
|         |       |         |       | S          | 元器件保护用 |                                |
|         |       |         |       | T          | 特殊型    |                                |
|         |       |         |       | W          | 稳压用    |                                |
|         |       |         |       | Y          | 环型     |                                |
|         |       |         |       | Z          | 组合型    |                                |

★6.1.5 光敏电阻器型号命名方法

表 6-5 是光敏电阻器型号命名方法。从表中可以看出，有多种类型的光敏电阻器，如可见光、红外光等。

表 6-5 光敏电阻器型号命名方法

| 第一部分:主称 |       | 第二部分:用途或特征 |     | 第三部分:序号                   |
|---------|-------|------------|-----|---------------------------|
| 字母      | 含义    | 数字         | 含义  |                           |
| MG      | 光敏电阻器 | 0          | 特殊  | 用数字表示序号,以区别该电阻器的外形尺寸及性能指标 |
|         |       | 1          | 紫外光 |                           |
|         |       | 2          | 紫外光 |                           |
|         |       | 3          | 紫外光 |                           |
|         |       | 4          | 可见光 |                           |
|         |       | 5          | 可见光 |                           |
|         |       | 6          | 可见光 |                           |
|         |       | 7          | 红外光 |                           |
|         |       | 8          | 红外光 |                           |
|         |       | 9          | 红外光 |                           |

★6.1.6 湿敏电阻器型号命名方法

湿敏电阻器型号可分为三个部分，各部分的含义见表 6-6。

表 6-6 湿敏电阻器型号命名方法

| 第一部分:主称 |       | 第二部分:用途或特征 |       | 第三部分:序号 |
|---------|-------|------------|-------|---------|
| ms      | 湿敏电阻器 | 字母         | 含义    |         |
|         |       | 无          | 通用型   |         |
|         |       | k          | 控制温度用 |         |
|         |       | c          | 测量湿度用 |         |

例如：ms01-a 是通用型号湿敏电阻器，m 表示敏感电阻器，s 表示是湿敏电阻器，01-a 是序号。

★6.1.7 气敏电阻器型号命名方法

如图 6-4 所示是气敏电阻器型号命名方法示意图。它有由三部分组成，即主称、用途或特征、序号。

- 第一部分用字母表示主称。
  - 第二部分用字母表示用途或特征。
  - 第三部分用数字表示产品序号。
- 表 6-7 是气敏电阻器型号各部分字母、序号含义。

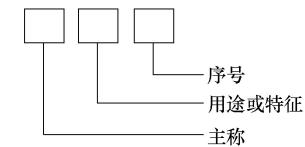


图 6-4 气敏电阻器型号命名方法示意图

表 6-7 气敏电阻器型号各部分字母、序号含义

| 第一部分:主称 |       | 第二部分:用途或特征 |         | 第三部分:序号 |
|---------|-------|------------|---------|---------|
| 字母      | 含义    | 字母         | 含义      |         |
| MQ      | 气敏电阻器 | J          | 酒精检测用   | 用数字表示序号 |
|         |       | K          | 可燃气体检测用 |         |
|         |       | Y          | 烟雾检测用   |         |
|         |       | N          | N 型气敏元件 |         |
|         |       | P          | P 型气敏元件 |         |

★6.1.8 磁敏电阻器型号命名方法

如图 6-5 所示是磁敏电阻器型号命名方法示意图。它由三部分组成，即主称、用途或特征、序号。

- 第一部分用字母表示主称。
  - 第二部分用字母表示用途或特征。
  - 第三部分用数字表示产品序号。
- 如表 6-8 所示是磁敏电阻器型号各部分字母、序号含义。

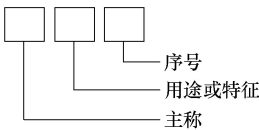


图 6-5 磁敏电阻器型号命名方法示意图

表 6-8 磁敏电阻器型号各部分字母、序号含义

| 第一部分:主称 |       | 第二部分:用途或特征 |     | 第三部分:序号   |
|---------|-------|------------|-----|-----------|
| 字母      | 含义    | 字母         | 含义  |           |
| MC      | 磁敏电阻器 | Z          | 电阻器 | 用数字表示产品序号 |
|         |       | W          | 电位器 |           |

★6.1.9 力敏电阻器型号命名方法

如图 6-6 所示是力敏电阻器型号命名方法示意图。它由三部分组成，即主称、用途或特征、序号。

- 第一部分用字母表示主称。
  - 第二部分用字母表示用途或特征。
  - 第三部分用数字表示产品序号。
- 如表 6-9 所示是力敏电阻器型号各部分字母、序号含义。

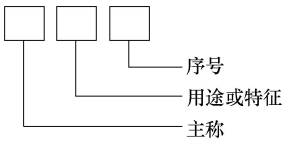


图 6-6 力敏电阻器型号命名方法示意图

表 6-9 力敏电阻器型号各部分字母、序号含义

| 第一部分:主称 |       | 第二部分:用途或特征 |      | 第三部分:序号   |
|---------|-------|------------|------|-----------|
| 字母      | 含义    | 字母         | 含义   |           |
| ML      | 力敏电阻器 | 1          | 硅应变片 | 用数字表示产品序号 |
|         |       | 2          | 硅应变梁 |           |
|         |       | 3          | 硅林   |           |



★6.1.10 电位器型号命名方法

表 6-10 是电位器型号命名方法。

表 6-10 电位器型号命名方法

| 第一部分:主称 |     | 第二部分:电阻体材料 |      | 第三部分:用途或特征 |         | 第四部分:序号 |
|---------|-----|------------|------|------------|---------|---------|
| 字母      | 含义  | 字母         | 含义   | 字母         | 含义      |         |
| W       | 电位器 | D          | 导电塑料 | B          | 片式      | 用数字表示   |
|         |     | F          | 复合膜  | D          | 多圈旋转精密型 |         |
|         |     | H          | 合成膜  | G          | 高压型     |         |
|         |     | I          | 玻璃釉膜 | H          | 组合型     |         |
|         |     | J          | 金属膜  | J          | 单圈旋转预调型 |         |
|         |     | N          | 无机实心 | M          | 直滑精密型   |         |
|         |     | S          | 有机实心 | P          | 旋转功率型   |         |
|         |     | X          | 线绕   | T          | 特殊型     |         |
|         |     | Y          | 氧化膜  | W          | 螺杆驱动预调型 |         |
|         |     |            |      | X          | 旋转低功率型  |         |
|         |     |            |      | Y          | 旋转预调型   |         |
|         |     |            |      | Z          | 直滑式低功率型 |         |

★6.1.11 电容器命名方法

表 6-11 是电容器命名方法,通过它可以了解到更为详细的电容器种类。电容器型号有四部分组成,这与电阻器型号相同。

表 6-11 电容器命名方法

| 第一部分:主称 |     | 第二部分:材料 |            | 第三部分:分类 |     | 第四部分:序号                                 |
|---------|-----|---------|------------|---------|-----|-----------------------------------------|
| 字母      | 含义  | 字母      | 含义         | 字母或数字   | 含义  |                                         |
| C       | 电容器 | A       | 钽电解        | C       | 穿心式 | 用数字表示品种、尺寸、代号、温度特性、直流工作电压、标称值、允许误差、标准代号 |
|         |     | B       | 聚苯乙烯等非极性薄膜 | D       | 低压  |                                         |
|         |     | C       | 高频陶瓷       | J       | 金属化 |                                         |
|         |     | D       | 铝电解        | M       | 密封  |                                         |
|         |     | E       | 其他材料电解     | S       | 独石  |                                         |
|         |     | F       | 聚四氟乙烯      | T       | 铁电  |                                         |
|         |     | G       | 合金电解       | W       | 微调  |                                         |
|         |     | H       | 复合介质       | X       | 小型  |                                         |
|         |     | I       | 玻璃釉        | Y       | 高管  |                                         |
|         |     | J       | 金属化纸       |         |     |                                         |
|         |     | L       | 涤纶等极性有机薄膜  |         |     |                                         |
|         |     | M       | 压敏         |         |     |                                         |
|         |     | N       | 铌电解        |         |     |                                         |
|         |     | O       | 玻璃膜        |         |     |                                         |
|         |     | Q       | 漆膜         |         |     |                                         |
|         |     | S       | 聚碳酸酯       |         |     |                                         |
|         |     | T       | 低频陶瓷       |         |     |                                         |
|         |     | V       | 云母纸        |         |     |                                         |
|         |     | Y       | 云母         |         |     |                                         |
|         |     | Z       | 纸介         |         |     |                                         |

表 6-12 是电容器型号中第三部分分类的数字含义说明。

表 6-12 电容器型号中第三部分分类的数字含义说明

| 数字代号 | 分 类 意 义 |     |     |       |
|------|---------|-----|-----|-------|
|      | 瓷介      | 云母  | 有机  | 电解    |
| 1    | 圆形      | 非密封 | 非密封 | 箔式    |
| 2    | 管形      | 非密封 | 非密封 | 箔式    |
| 3    | 叠片      | 密封  | 密封  | 烧结粉液体 |
| 4    | 独石      | 密封  | 密封  | 烧结粉固体 |
| 5    | 穿心      |     | 穿心  |       |
| 6    | 支柱等     |     |     |       |
| 7    |         |     |     | 无极性   |
| 8    | 高压      | 高压  | 高压  |       |
| 9    |         |     | 特殊  | 特殊    |

★6.1.12 微调电容器和可变电容器型号命名方法

1. 微调电容器型号命名方法

薄膜可变电容器型号组成如下：

CBM — 2 0 2 B

| | | | |

主称 联数 附加微调 外形 最大标称容量

表 6-13 是薄膜可变电容器型号组成说明。

表 6-13 薄膜可变电容器型号组成说明

| 名 称      | 说 明                                                                     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|
| 主称       | C 表示电容器,B 表示可变(容量可变),M 表示是薄膜介质                                          |
| 联数       | 用数字表示有多少联,例如四联用 4 表示,双联用 2 表示                                           |
| 附加微调电容器  | 用数字表示有多少个附加微调电容器,用 0 表示没有附加微调电容器,例如 CBM—443BF 是一个四联,附有四个微调电容器           |
| 外形代号     | 数字表示外形尺寸(mm):1 表示 30×30;2 表示 25×25;3 表示 20×20;4 表示 17.5×17.5;5 表示 15×15 |
| 最大标称容量代号 | 用字母表示最大标称容量                                                             |

表 6-14 是最大标称容量代号含义解说。

表 6-14 最大标称容量代号含义解说

| 字母代号 | 最大标称容量/pF | 解 说                                             |
|------|-----------|-------------------------------------------------|
| A    | 340       | 适用于调幅联、等容可变电容器                                  |
| B    | 270       |                                                 |
| C    | 170       |                                                 |
| D    | 130       |                                                 |
| P    | 140       | 适用于调幅联、差容可变电容器。其中 P 对应的调谐联最大容量为 140pF,Q 对应 60pF |
| Q    | 60        |                                                 |
| F    | 20        | 适用于调频联、等容可变电容器                                  |



重要提示

瓷介质微调电容器的标称容量范围通常标注在微调电容器的侧面，例如 7/30、5/20、3/10 等，其中分子表示最小容量，分母表示最大容量，单位均为 pF。

2. 小型薄膜可变电容器型号命名方法说明

小型薄膜可变电容器的型号组成如下：

CBM — 2 X 270

| | | |

主称 联数 小型可变电容器 最大容量标称值

主称与前面的含义相同。联数也用数字表示，当联数一项不标时为单联。用 X 表示小型的可变电容器。

★6.1.13 磁棒型号命名方法

1. 锰锌铁氧体磁棒型号命名方法

锰锌铁氧体磁棒的型号组成如下：

MXO — 400 — Y (或 P) Φ×L (L×D×H)

| | | |

主称 (材料) 磁导率 磁棒形状 磁棒尺寸



关于这种磁棒的型号说明下列几点：

- 1) 主称中，MXO 表示锰锌铁氧体材料。
- 2) 第二项中的 400 表示磁棒的磁导系数。
- 3) 磁棒形状中，用 Y 表示是圆形磁棒，用 P 表示是扁形磁棒。
- 4) 磁棒尺寸中，若是圆形磁棒用  $\Phi$  表示直径（单位为 mm），用 L 表示长度（单位 mm）。如是扁形磁棒，则分别用 L、D、H 表示长、宽、高（单位 mm）。

2. 镍锌铁氧体磁棒型号命名方法

镍锌铁氧体磁棒型号命名组成与含义与锰锌铁氧磁棒基本一样，如下所示：

NXO - 60 - P (或 Y) 尺寸

主称（材料） 磁导率 磁棒形状 磁棒尺寸

关于这种磁棒的型号说明下列几点：

- 1) 主称中，NXO 表示镍锌铁氧体材料。
- 2) 第二项中的 60 表示磁棒的磁导系数，除 60 外还有 40 的。
- 3) 其他各项与上面的相同。

3. 磁棒尺寸与天线线圈匝数之间关系

表 6-15 是磁棒尺寸与天线线圈匝数之间关系。

表 6-15 磁棒尺寸与天线线圈匝数之间关系

| 名称          | 规格尺寸<br>/mm              | 材料      | 使用频率<br>/MHz | 有效导磁率<br>( $\mu d$ ) | 线圈匝数    |        |            |
|-------------|--------------------------|---------|--------------|----------------------|---------|--------|------------|
|             |                          |         |              |                      | 一次侧     | 二次侧    | Q 值        |
| 锰锌磁性<br>天线棒 | $\phi 8 \times 100$      | MXO-400 | $\leq 1.5$   | $\geq 14$            | 75      | 8      | $\geq 150$ |
|             | $\phi 10 \times 120$     | MXO-400 | $\leq 1.5$   | $\geq 15$            | 65      | 6      | $\geq 150$ |
|             | $\phi 10 \times 140$     | MXO-400 | $\leq 1.5$   | $\geq 16$            | 58      | 5      | $\geq 150$ |
|             | $\phi 10 \times 170$     | MXO-400 | $\leq 1.5$   | $\geq 17.5$          | 40      | 4      | $\geq 180$ |
|             | $\phi 10 \times 120$     | MXO-200 | $\leq 2.5$   | $\geq 12.5$          | 68      | 7      | $\geq 180$ |
|             | $4 \times 20 \times 60$  | MXO-400 | $\leq 1.5$   | $\geq 11$            | 80      | 8      | $\geq 180$ |
|             | $4 \times 20 \times 60$  | MXO-400 | $\leq 1.5$   | $\geq 13$            | 65      | 6      | $\geq 200$ |
| 镍锌磁性<br>天线棒 | $\phi 10 \times 140$     | —       | 10 ~ 50      | $\geq 3$             | 58<br>6 | 6<br>3 | $\geq 200$ |
|             | $\phi 10 \times 160$     | —       | 10 ~ 50      | $\geq 3$             | 48<br>5 | 4<br>3 | $\geq 200$ |
|             | $4 \times 20 \times 120$ | —       | 10 ~ 50      | $\geq 3$             | 65<br>5 | 6<br>3 | $\geq 200$ |

★6.1.14 变压器型号命名方法

1. 型号组成

如图 6-7 所示是变压器型号组成示意图。

第一部分：主称，用字母表示；

第二部分：功率，用数字表示，计量单位用 VA 或 W 标志，但 RB 型变压器除外；

第三部分：序号，用数字表示。

2. 主称部分字母含义

变压器型号中主称部分字母含义如下。

DB 电源变压器。

CB 音频输出变压器。

RB 音频输入变压器。

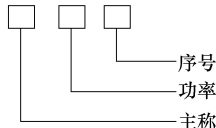


图 6-7 变压器型号组成示意图

GB 高压变压器。  
HB 灯丝变压器。  
SB 或 ZB 音频（定阻式）输送变压器  
SB 或 EB 音频（定压式或自耦式）输送变压器  
举例说明：DB-60-2 表示 60VA 电源变压器。

### ★6.1.15 调幅收音机中频变压器型号命名方法

#### 1. 型号组成

如图 6-8 所示是调幅收音机中频变压器型号组成示意图。  
第一部分：主称，由字母的组合表示名称、用途及特征。  
第二部分：外形尺寸，由数字表示。  
第三部分：序号。用数字表示代表级数。1 表示第一级中频变压器，2 表示第二级中频变压器，3 表示第三级中频变压器。

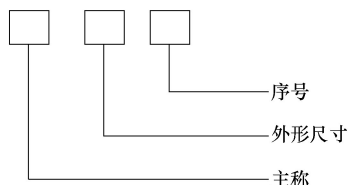


图 6-8 调幅收音机中频变压器型号组成示意图

#### 2. 主称部分字母和外形尺寸数字代号含义

如表 6-16 所示是调幅收音机中频变压器主称代号和外形尺寸数字代号含义。

表 6-16 调幅收音机中频变压器主称代号及外形尺寸数字代号含义

| 主称代号 |          | 外形尺寸代号 |              |
|------|----------|--------|--------------|
| 序号   | 名称、用途、特征 | 数字     | 代表尺寸/mm      |
| T    | 中频变压器    | 1      | 7 × 7 × 12   |
| L    | 线圈或振荡线圈  | 2      | 10 × 10 × 14 |
| T    | 磁心式      | 3      | 12 × 12 × 16 |
| F    | 调幅收音机用   | 4      |              |
| S    | 短波用      |        |              |

举例说明：TTF-2-2 是调幅式收音机用的磁心式中频变压器，其外形尺寸为 10mm × 10mm × 14mm，为第二级中频放大器用的中频变压器。

### ★6.1.16 电视机中频变压器命名方法

#### 1. 型号组成

如图 6-9 所示是电视机中频变压器型号组成示意图。  
第一部分：底座尺寸。用数字表示，例如 10 表示 10mm × 10mm。  
第二部分：主称。用字母表示名称及用途，见表 6-3。  
第三部分：结构。用数字表示，2 为磁帽调节式，3 为螺杆调节式。  
第四部分：序号。用数字表示。

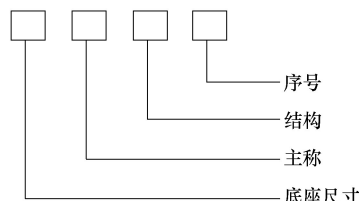


图 6-9 电视机中频变压器型号组成示意图

#### 2. 主称字母含义

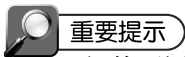
表 6-17 是主称字母含义说明。

表 6-17 主称字母含义说明

| 主称字母 | 含义    | 主称字母 | 含义   |
|------|-------|------|------|
| T    | 中频变压器 | V    | 图像回路 |
| L    | 线圈    | S    | 伴音回路 |

举例说明：10TS2221 型中频变压器，表示为磁帽调节式伴音中频变压器，底座尺寸为 10mm × 10mm，产品区别序号为 221。

★6.1.17 二极管型号命名方法



二极管不同于电阻器、电容器等，它的参数不标注在二极管的外壳上，而是要通过查阅有关晶体管手册后，才能了解二极管的参数值。

二极管的型号命名方法同后面将要介绍的晶体管型号命名方法相同，这里将这两种管子型号命名方法放在一起介绍。

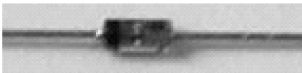
我国对二极管和晶体管型号命名中，将管子型号分成五个部分，如表 6-18 所示是晶体管型号命名方法。

表 6-18 晶体管型号命名方法

| 第一部分         |     | 第二部分              |            | 第三部分           |                                                          |     |                                                             | 第四部分      | 第五部分          |
|--------------|-----|-------------------|------------|----------------|----------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------|-----------|---------------|
| 用数字表示器件的电极数目 |     | 用汉语拼音字母表示器件的材料和极性 |            | 用汉语拼音字母表示器件的类型 |                                                          |     |                                                             | 用数字表示器件序号 | 用汉语拼音字母表示区别代号 |
| 符号           | 意义  | 符号                | 意义         | 符号             | 意义                                                       | 符号  | 意义                                                          |           |               |
| 2            | 二极管 | A                 | N 型, 锗材料   | P              | 普通管                                                      | D   | 低频大功率管<br>( $f_a < 3\text{MHz}$ , $P_c \geq 1\text{W}$ )    |           |               |
|              |     | B                 | P 型, 锗材料   | V              | 微波管                                                      |     |                                                             |           |               |
|              |     | C                 | N 型, 硅材料   | W              | 稳压管                                                      | A   | 高频大功率管<br>( $f_a \geq 3\text{MHz}$ , $P_c \geq 1\text{W}$ ) |           |               |
|              |     | D                 | P 型, 硅材料   | C              | 参量管                                                      | T   | 半导体闸流管<br>(可控整流器)                                           |           |               |
| 3            | 晶体管 | A                 | PNP 型, 锗材料 | Z              | 整流器                                                      |     |                                                             |           |               |
|              |     | B                 | NPN 型, 锗材料 | L              | 整流堆                                                      | Y   | 体效应器件                                                       |           |               |
|              |     | C                 | PNP 型, 硅材料 | S              | 隧道管                                                      | B   | 雪崩管                                                         |           |               |
|              |     | D                 | NPN 型, 硅材料 | N              | 阻尼管                                                      | J   | 阶跃恢复管                                                       |           |               |
|              |     | E                 | 化合物材料      | U              | 光电器件                                                     | CS  | 场效应器件                                                       |           |               |
|              |     |                   |            | K              | 开关管                                                      | BT  | 半导体特殊器件                                                     |           |               |
|              |     |                   |            | X              | 低频小功率管<br>( $f_a < 3\text{MHz}$ , $P_c < 1\text{W}$ )    | FH  | 复合管                                                         |           |               |
|              |     |                   |            |                |                                                          | PIN | PIN 型管                                                      |           |               |
|              |     |                   |            | G              | 高频小功率管<br>( $f_a \geq 3\text{MHz}$ , $P_c < 1\text{W}$ ) | JG  | 激光器件                                                        |           |               |

这里举几个二极管例子来说明型号的含义。根据型号可以知道二极管的材料、极性和类型等，如表 6-19 所示。

表 6-19 二极管型号识别举例

| 名称及示意图                                                                                                             | 识别方法说明                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div>2AP9</div>  <p>检波二极管</p>   | <p>二极管外壳上标出 2AP9, 2 表示是二极管; A 表示是 N 型半导体, 为锗材料二极管; P 表示是普通二极管; 9 表示序号</p> <p>由此可知 2AP9 是一只普通锗材料二极管, 关于它的具体参数从型号上看不出来, 要去查有关晶体管手册。2AP9 一般用作检波二极管</p> |
| <div>2CZ11</div>  <p>硅整流二极管</p> | <p>二极管外壳上标出 2CZ11, 其中 2 是二极管, C 是硅材料、N 型半导体, Z 是整流二极管, 11 是序号。因此, 2CZ11 是一只硅整流二极管</p>                                                               |

★6.1.18 国产晶体管型号命名方法

国产晶体管型号命名方法在前二极管型号命名方法中已介绍，这里说明以下两点：

- 1) 从型号中是可以知道晶体管的极性、材料和类型的。
- 2) 晶体管型号中用3 开头，这3 表示是晶体管。

举例说明：如图 6-10 所示是 3AD50C 晶体管，型号中的 3 表示晶体管，A 表示 PNP 型锗材料，D 表示低频大功率管，50C 是序号和区别代号，所以这是一只 PNP 型锗材料的低频大功率晶体管。



图 6-10 晶体管型号示意图

★6.1.19 日本产半导体器件命名方法

表 6-20 是日本产半导体器件命名方法。

表 6-20 日本产半导体器件命名方法

| 第一部分         |             | 第二部分       |       | 第三部分            |                 | 第四部分               | 第五部分               |
|--------------|-------------|------------|-------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 用数字表示器件的电极数目 |             | 用字母表示半导体器件 |       | 用拉丁字母表示器件的结构和类型 |                 | 用 2~3 位数字表示器件登记顺序号 | 用拉丁字母表示同一种型号器件的改进型 |
| 符号           | 意义          | 符号         | 意义    | 符号              | 意义              |                    |                    |
| 0            | 光电器件        | S          | 半导体器件 | A               | 高频 PNP 型晶体管     |                    |                    |
| 1            | 二极管         |            |       |                 | 快速开关晶体管         |                    |                    |
| 2            | 晶体管         |            |       | B               | 低频大功率 PNP 管     |                    |                    |
| 3            | 有三个 PN 结的器件 |            |       | C               | 高频及快速开关 NPN 晶体管 |                    |                    |
|              |             |            |       | D               | 低频大功率 NPN 管     |                    |                    |
|              |             |            |       | F               | P 控制极晶闸管        |                    |                    |
|              |             |            |       | G               | N 控制极晶闸管        |                    |                    |
|              |             |            |       | H               | N 基极单结管         |                    |                    |
|              |             |            |       | J               | P 沟道场效应晶体管      |                    |                    |
|              |             |            |       | K               | N 沟道场效应晶体管      |                    |                    |
|              |             | M          | 双向晶闸管 |                 |                 |                    |                    |

型号解读举例：2SA53 表示高频 PNP 型晶体管，1S92 表示半导体二极管。



重要提示

- (1) 在日本产品晶体管中，型号第一部分的数字是表示的 PN 结数量，因为晶体管中有二个 PN 结，所以晶体管型号中用 2 表示，二极管因为只有一个 PN 结而用 1 表示，这一点与国产晶体管有明显的不同。
- (2) 一般型号中共有五部分，但有的会出现七项，其第六、七项是各公司不相同的。
- (3) 第二部分用大写字母 S 表示，只要是在日本电子工业协会注册的器件，均要 S 表示。
- (4) 第三部分用大写字母表示器件的极性和类型，这一点也是我国的型号所不同的。
- (5) 第四部分用两位以上的整数表示登记号，它不表示具体的性能、参数等，但有一点是可以知道的，这序号大的是最新产品。
- (6) 第五部分用大写字母表示改进产品。
- (7) 有时在晶体管上采用省略标注方法，即将 2S 省略去，只从第部分开始标注。
- (8) 型号中没有表示出器件的材料，这一点是与我国不同的。
- (9) 把  $P_{CM} > 1W$  的晶体管称为大功率晶体管。
- (10) 低频类晶体管中也有工作频率较高的晶体管，所以不要认为 2SB、2SD 类晶体管都是低频晶体管。



★6.1.20 美国半导体器件型号命名方法

表 6-21 是美国半导体器件型号命名方法。

表 6-21 美国半导体器件型号命名方法

| 第一部分       |     | 第二部分         |     | 第三部分    |                   | 第四部分        |       | 第五部分           |         |
|------------|-----|--------------|-----|---------|-------------------|-------------|-------|----------------|---------|
| 用符号表示器件的等级 |     | 用数字表示 PN 结数目 |     | 用字母表示材料 |                   | 用数字表示器件登记序号 |       | 用字母表示同一器件的不同档次 |         |
| 符号         | 意义  | 符号           | 意义  | 符号      | 意义                | 符号          | 意义    | 符号             | 意义      |
| J          | 军品  | 1            | 二极管 | N       | 该元器件在美国电子工业协会注册登记 | 2~4 位数字     | 登记顺序号 | A、B、C...       | 表示器件改进型 |
| 无          | 非军品 | 2            | 晶体管 |         |                   |             |       |                |         |
|            |     | 3            | 四极管 |         |                   |             |       |                |         |

型号解读举例：1N4148 表示开关二极管，2N3464 表示高频大功率 NPN 型硅管。

★6.1.21 国际电子联合会半导体器件命名方法

由于目前欧洲各国没有明确统一的标准半导体器件型号命名法，故他们大都使用国际电子联合会标准。半导体器件的型号一般由四部分组成，其基本含义见表 6-22。



重要提示

欧洲半导体器件型号除以上基本组成部分外，为进一步标明器件的特性，或对器件进一步分类，有时还加有后缀，后缀用破折号与基本部分分开。

表 6-22 国际电子联合会半导体器件命名方法

| 第一部分         |      | 第二部分            |                   |    |        | 第三部分           |                               | 第四部分                  |                          |
|--------------|------|-----------------|-------------------|----|--------|----------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 用字母表示器件使用的材料 |      | 用字母表示器件的类型及主要特性 |                   |    |        | 用数字或字母加数字表示登记号 |                               | 用字母表示对同一型号器件的改进       |                          |
| 符号           | 意义   | 符号              | 意义                | 符号 | 意义     | 符号             | 意义                            | 符号                    | 意义                       |
| A            | 锗材料  | A               | 检波二极管、开关二极管、混频二极管 | P  | 光敏器件   | 三位数字           | 代表半导体器件的登记序号（同一类型器件使用一个登记号）   | A<br>B<br>C<br>D<br>E | 表示同一型号的半导体器件在某一参数方面的分档标志 |
| B            | 硅材料  | B               | 变容二极管             | Q  | 发光器件   |                |                               |                       |                          |
| C            | 砷化镓  | C               | 低频小功率晶体管          | R  | 小功率晶闸管 |                |                               |                       |                          |
| D            | 锑化铟  | D               | 低频大功率晶体管          | S  | 小功率开关管 |                |                               |                       |                          |
| R            | 复合材料 | E               | 隧道二极管             | T  | 大功率晶闸管 | 一个字母两位数字       | 代表专用半导体器件的登记序号（同一类型器件使用一个登记号） |                       |                          |
|              |      | F               | 高频小功率晶体管          | U  | 大功率开关管 |                |                               |                       |                          |
|              |      | G               | 复合器件、其他器件         | X  | 倍增二极管  |                |                               |                       |                          |
|              |      | H               | 磁敏二极管             | Y  | 整流二极管  |                |                               |                       |                          |
|              |      | K               | 霍尔器件              | Z  | 稳压二极管  |                |                               |                       |                          |
|              |      | L               | 高频大功率晶体管          |    |        |                |                               |                       |                          |

★6.1.22 集成电路型号命名方法



重要提示

在使用、检修、识别和进行电路分析时，都要了解集成电路的型号。集成电路的型号印在集成电路的正面，其型号的具体含义除一些常用功能的集成电路外，通常需要查集成电路手册才能准确知道。

最新的国标规定，我国生产的集成电路型号由五部分组成，以前各生产厂家的规定全部作废。国产集成电路的型号具体组成情况如下所示：



|      |      |         |      |      |
|------|------|---------|------|------|
| C    | B    | × × × × | C    | B    |
|      |      |         |      |      |
| 第一部分 | 第二部分 | 第三部分    | 第四部分 | 第五部分 |
| 字头符号 | 电路类型 | 电路型号数   | 温度范围 | 封装形式 |

1. 第一部分含义

集成电路型号中的第一部分用一个字母 C 表示符合国家标准的集成电路。

2. 第二部分含义

集成电路型号中的第二部分用字母表示电路的类型，可以是一个大写字母，也可是二个大写字母，具体含义见表 6-23。

表 6-23 集成电路第二部分字母含义

| 字母 | 第二部分表示的含义(电路的类型)                     |
|----|--------------------------------------|
| AD | 模拟数字转换器                              |
| B  | 非线性电路(模拟开关;模拟乘、除法器;时基电路;锁相器;双样保持电路等) |
| C  | CMOS 电路                              |
| D  | 音响类电路,电视机类电路                         |
| DA | 数字模拟转换器                              |
| E  | ECL 电路                               |
| F  | 运算放大器;线性放大器                          |
| H  | HTL 电路                               |
| J  | 接口电路(电压比较器;电平转换器;线电路;外围驱动电路)         |
| M  | 存储器                                  |
| S  | 特殊电路(机电仪表电路;传感器;通信电路;消费类电路)          |
| T  | TTL 电路                               |
| W  | 稳压器                                  |
| μ  | 微型计算机电路                              |

3. 第三部分含义

集成电路型号中的第三部分用数字或字母表示产品的代号，与同功能的国外集成电路保持一样的代号，即国产的集成电路与国外的集成电路第三部分代号一样时，为全仿制集成电路，不仅电路结构、引脚分布规律等同国外产品相同外，还可以直接与国产集成电路代换使用。

4. 第四部分含义

集成电路型号中的第四部分用一个大写字母表示工作温度，具体含义见表 6-24。

表 6-24 集成电路第四部分含义

| 字母 | 第四部分表示的含义(工作温度范围℃) | 字母 | 第四部分表示的含义(工作温度范围℃) |
|----|--------------------|----|--------------------|
| C  | 0 ~ 70             | R  | - 55 ~ 85          |
| E  | - 40 ~ 85          | M  | - 55 ~ 125         |

5. 第五部分含义

集成电路型号中的第五部分用一个大写字母表示封装形式，具体含义见表 6-25，共有七种。

表 6-25 集成电路第五部分含义

| 字母 | 第五部分表示的含义(封装形式) | 字母 | 第五部分表示的含义(封装形式) |
|----|-----------------|----|-----------------|
| D  | 多层陶瓷,双列直插       | K  | 金属,菱形           |
| F  | 多层陶瓷,扁平         | P  | 塑料,双列直插         |
| H  | 黑瓷低熔玻璃,扁平       | T  | 金属,圆形           |
| J  | 黑瓷低熔玻璃,双列直插     |    |                 |



## A 6.1.22 国外佳戎由吸生立厂产的白斗竹只

表 6-26 目前国外焦化中收生产厂家的字头数日

表 C.26 国外集成电路生产厂商的标识符号

| 字头符号         | 公司名称      | 字头符号            | 公司名称          |
|--------------|-----------|-----------------|---------------|
| AD           | 美国模拟器件公司  | MP              | 美国低功耗系统公司     |
| AN、DN        | 日本松下电器公司  | ML、MH           | 加拿大米尔半导体公司    |
| CA、CD、CDP    | 美国无线电公司   | N、NE、SA、SU、CA   | 美国西格尼蒂公司      |
| CX、CXA       | 日本索尼公司    | NJM、NLM         | 日本新日元         |
| CS           | 美国齐瑞半导体公司 | RC、RM           | 美国 RTN        |
| HA           | 日本日立公司    | SAT、SAJ         | 美国 ITT        |
| ICL、D、DG     | 美国英特锡尔公司  | SAB、SAS         | 西德 SIEG       |
| LA、LB、STK、LC | 日本三洋公司    | TA、TD、TC        | 日本东芝公司        |
| LC、LG        | 美国通用仪器公司  | TAA、TBA、TCA、TDA | 欧洲电子联盟        |
| LM、TBA、TCA   | 美国国家半导体公司 | TL              | 美国德克萨斯仪器公司    |
| M            | 日本三菱电机公司  | U               | 西德德律风根        |
| MB           | 日本富士通有限公司 | ULN、ULS、ULX     | 美国史普拉格公司      |
| MC           | 美国摩托罗拉公司  | UA、F、SH         | 美国仙童公司、FSC 公司 |
| MK           | 美国英斯特卡公司  | UPC、UPB         | 日本电气公司、美国电子公司 |

## A 6-1-24 日本三洋 (SANYO) 公司佳成电唱机日全冬半注

日本一洋行司集戊申收刊日本郵政八組戊 如下所三

LA                  × × × ×

|                      |

第 一 部 八 字 斗 第 日 第 一 部 八 中 晚 到 日 新

女字种佳戊申收刑日申 第 部八的宇斗 采用西公武一公土写宇凡 圭丰二夕种佳戊申收的米

表 6-27 日本三洋公司集思广益型具体会议

|      |           |      |
|------|-----------|------|
| 第一部分 |           | 第二部分 |
| LA   | 单块双极线性    |      |
| LB   | 双极数字      |      |
| LC   | CMOS      |      |
| LE   | MNMOS     |      |
| LM   | PMOS、NMOS |      |
| STK  | 厚膜        |      |

## A 6.1.25 日本日立 (HITACHI) 公司生产由吹型法制备的注

日本日立公司生产的焦炭中硫含量由五个部分组成。如下所示

HA                      13                      92                      A                      P  
|                      |                      |                      |                      |  
第一部分              第二部分              第三部分              第四部分              第五部分  
字头符号              电路使用范围              电路型号数              电路性能              封装形式

表 6-28 是日本日立公司集成电路型号各部分具体含义。

表 6-28 日本日立公司集成电路型号各部分具体含义

| 第一部分 |          | 第二部分 |     | 第三部分      | 第四部分 |     | 第二部分 |    |
|------|----------|------|-----|-----------|------|-----|------|----|
| 字头   | 含义       | 数字   | 含义  | 用数字表示电路型号 | 字母   | 含义  | 字母   | 含义 |
| HA   | 模拟电路     | 11   | 高频用 |           | A    | 改进型 | P    | 塑料 |
| HD   | 数字电路     | 12   | 高频用 |           |      |     |      |    |
| HM   | 存储器(RAM) | 13   | 音频用 |           |      |     |      |    |
| HN   | 存储器(ROM) | 14   | 音频用 |           |      |     |      |    |

★6.1.26 日本东芝（TOSHIBA）公司集成电路型号命名方法

日本东芝公司产生的集成电路型号由三部分组成，如下所示：

TA                      × × × ×                      P  
|                      |                      |  
第一部分字头符号      第二部分电路型号数      第三部分封装形式  
表 6-29 是日本东芝公司集成电路型号的具体含义。

表 6-29 日本东芝公司集成电路型号具体含义

| 第一部分 |      | 第二部分       | 第三部分 |      |
|------|------|------------|------|------|
| 字母   | 含义   | 用数字表示电路型号数 | 字母   | 含义   |
| TA   | 双极线性 |            | A    | 改进型  |
| TC   | CMOS |            | C    | 陶瓷封装 |
| TD   | 双极数字 |            | M    | 金属封装 |
| TM   | MOS  |            | P    | 塑料封装 |

★6.1.27 日本松下（PANASONIC）电器公司集成电路型号命名方法

日本松下电器公司产生的集成电路型号由两部分组成，如下所示：

AN                      × × × ×  
|                      |  
第一部分字头符号      第二部分电路型号数  
表 6-30 是日本松下电器公司集成电路型号的具体含义。

表 6-30 日本松下电器公司集成电路型号具体含义

| 第一部分 |         | 第二部分       |
|------|---------|------------|
| 字母   | 含义      | 用数字表示电路型号数 |
| AN   | 模拟电路    |            |
| DN   | 数字双极性电路 |            |

★6.1.28 日本三菱（MITSUBSHI）电机公司集成电路型号命名方法

日本三菱电机公司产生的集成电路型号由五部分组成，如下所示：

M              5              1              95              P  
|              |              |              |              |  
第一部分      第二部分      第三部分      第四部分      第五部分  
字头符号      温度范围      电路类型      电路型号数      封装形式



表 6-31 是日本三菱电机公司集成电路型号具体含义。

表 6-31 日本三菱电机公司集成电路型号具体含义

| 第一部分 |            | 第二部分 |       | 第三部分  |      | 第四部分           | 第五部分 |       |
|------|------------|------|-------|-------|------|----------------|------|-------|
| 字母   | 含义         | 字母   | 含义    | 数字    | 含义   | 用数字表示<br>电路型号数 | 字母   | 含义    |
| M    | 三菱公司<br>产品 | 5    | 工业、商用 | 0     | CMOS |                | K    | 玻璃-陶瓷 |
|      |            | 8    | 军用    | 1     | 线性   |                | P    | 塑料    |
|      |            |      |       | 3     | TTL  |                | S    | 金属-陶瓷 |
|      |            |      |       | 10-19 | 线性电路 |                |      |       |

★6.1.29 日本电气公司（NEC）集成电路型号命名方法

日本电气公司产生的集成电路型号由五部分组成，如下所示：

|      |      |         |      |       |
|------|------|---------|------|-------|
| UP   | C    | × × × × | C    | X (S) |
|      |      |         |      |       |
| 第一部分 | 第二部分 | 第三部分    | 第四部分 | 第五部分  |
| 字头符号 | 电路类型 | 电路型号数   | 封装形式 | 电路性能  |

表 6-32 是日本电气公司集成电路型号具体含义。

表 6-32 日本电气公司集成电路型号具体含义

| 第一部分 |      | 第二部分 |         | 第三部分           | 第四部分 |      | 第五部分 |     |
|------|------|------|---------|----------------|------|------|------|-----|
| 字母   | 含义   | 字母   | 含义      | 用数字表示<br>电路类型号 | 字母   | 含义   | 字母   | 含义  |
| UP   | 微型器件 | C    | 线性      |                | C    | 塑料封装 | S    | 改进型 |
|      |      | A    | 分立器件    |                | D    | 陶瓷双列 |      |     |
|      |      | B    | 数字双极    |                |      |      |      |     |
|      |      | D    | CMOS 数字 |                |      |      |      |     |

★6.1.30 晶闸管型号命名方法

表 6-33 是晶闸管型号命名方法。

表 6-33 晶闸管型号命名方法

| 第一部分:主称 |     | 第二部分:类别 |         | 第三部分:额定通态电流 |      | 第四部分:重复峰值电压级数 |       |
|---------|-----|---------|---------|-------------|------|---------------|-------|
| 字母      | 含义  | 字母      | 含义      | 数字          | 含义   | 数字            | 含义    |
| K       | 晶闸管 | P       | 普通反向阻断型 | 1           | 1A   | 1             | 100V  |
|         |     |         |         | 5           | 5A   | 2             | 200V  |
|         |     |         |         | 10          | 10A  | 3             | 300V  |
|         |     |         |         | 20          | 20A  | 4             | 400V  |
|         |     | K       | 快速反向阻断型 | 30          | 30A  | 5             | 500V  |
|         |     |         |         | 50          | 50A  | 6             | 600V  |
|         |     |         |         | 100         | 100A | 7             | 700V  |
|         |     |         |         | 200         | 200A | 8             | 800V  |
|         |     | S       | 双向型     | 300         | 300A | 9             | 900V  |
|         |     |         |         | 400         | 400A | 10            | 1000V |
|         |     |         |         | 500         | 500A | 12            | 1200V |
|         |     |         |         |             |      | 14            | 1400V |

举例说明 1：KP1-2（1A 200V 普通反向阻断型晶闸管）。K——晶闸管，P——普通反向阻断型，1——通态电流 1A，2——重复峰值电压 200V。

举例说明 2：KS5-4（5A 400V 双向晶闸管）。K——晶闸管，S——双向管，5——通态电流 5A，4——重复峰值电压 400V。

★6.1.31 石英晶体振荡器型号命名方法

表 6-34 是石英晶体振荡器型号命名方法。

表 6-34 石英晶体振荡器型号命名方法

| 第一部分:外壳的形状和材料 |     | 第二部分:石英片切型 |               | 第三部分:主要性能及外形尺寸    |
|---------------|-----|------------|---------------|-------------------|
| 字母            | 含义  | 字母         | 含义            | 用数字表示晶振的主要性能及外形尺寸 |
| B             | 玻璃壳 | A          | AT 切型         |                   |
|               |     | B          | BT 切型         |                   |
|               |     | C          | CT 切型         |                   |
|               |     | D          | DT 切型         |                   |
| S             | 塑料壳 | E          | ET 切型         |                   |
|               |     | F          | FT 切型         |                   |
|               |     | H          | HT 切型         |                   |
|               |     | M          | MT 切型         |                   |
| J             | 金属壳 | N          | NT 切型         |                   |
|               |     | U          | 音叉弯曲振动型 WX 切型 |                   |
|               |     | X          | 伸缩振动 X 切型     |                   |
|               |     | Y          | Y 切型          |                   |

6.2 元器件结构图查询平台

本节阅读建议：记忆性快速阅读，全面了解诸多元器件结构，学会使用查询平台。  
本节难度系数：2 级。  
本节记忆系数：5 级。

★6.2.1 贴片电阻器、线绕电阻器和薄膜电阻器结构

1. 贴片电阻器结构

如图 6-11 所示是贴片电阻器结构示意图。矩形片状电阻器有两种类型，即厚膜片状电阻器和薄膜片状电阻器，目前常用的是厚膜片状电阻器。

2. 线绕电阻器结构

如图 6-12 所示是几种线绕电阻器结构示意图，线绕电阻器是用康铜、锰铜或镍铬合金丝绕在陶瓷骨架上而制成的一种电阻器。

这种电阻器的表面常涂有保护漆或玻璃釉，也有的把电阻体放在绝缘的外壳内，用耐热的填料填充。

线绕电阻器分固定电阻器和可调电阻器两种，可调电阻器的可调部位的绕线是裸露的。

3. 薄膜电阻器结构

如图 6-13 所示是薄膜型电阻器结构示意图。碳、镍铬合金，或者其他的陶瓷和金属（金属陶瓷）的混合物，以薄膜或者薄层的形式附在一个圆柱体上，以获得一定阻值的电阻器，这种电阻器叫做碳膜或金属膜电阻器，它的外形像碳质电阻器，但是内部结构是不同的。

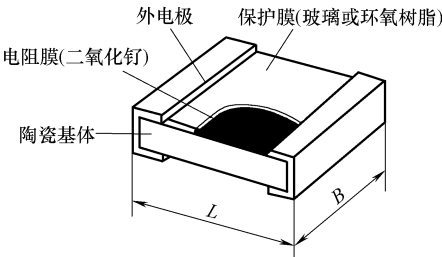


图 6-11 贴片电阻器结构示意图



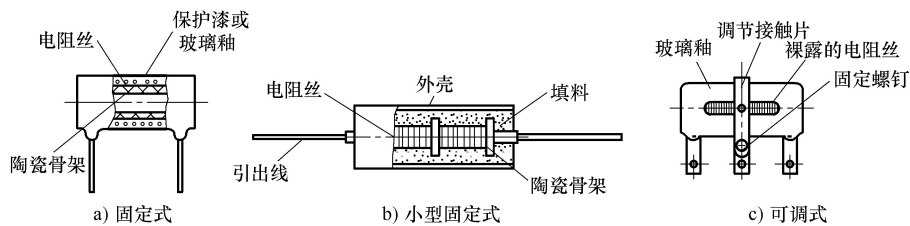


图 6-12 几种线绕电阻器结构示意图

圆柱体由陶瓷等这样的绝缘物质制成，使用不同的方法将薄膜做在该圆柱体上，然后剪裁为所需要的值。金属膜电阻器的阻值可以做得非常精确。

薄膜型电阻器的主要优点是，它们像碳质电阻器一样容抗和感抗都很小，缺点是功率不够大。

### ★6.2.2 可变电阻器和电位器结构

#### 1. 可变电阻器结构

如图 6-14 所示是小信号可变电阻器的结构示意图。了解可变电阻器的结构有利分析它的工作原理。

从图中可以看出，它主要由动片、碳膜体、三根引脚片组成，三根引脚分别是两根固定引脚（又称定片），一根动片引脚。可变电阻器的动片可以左右转动。用平口螺钉旋具伸入调节口中转动时，动片上的触点在电阻片上可以滑动，进行阻值的调整。

#### 2. 碳膜电位器结构

如图 6-15 所示是碳膜电位器结构示意图。

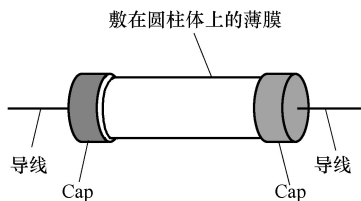


图 6-13 薄膜型电阻器结构示意图

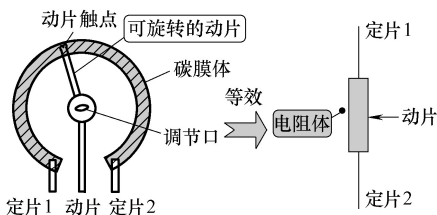


图 6-14 小信号可变电阻器的结构示意图

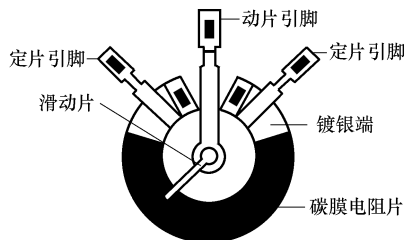


图 6-15 碳膜电位器结构示意图

#### 3. 多圈电位器结构

如图 6-16 所示是几种多圈电位器结构示意图。

转动电位器的转柄时，动片在电阻体上滑动，动片到两个定片之间的阻值大小发生改变。



#### 重要提示

当动片到一个定片的阻值增大时，动片到另一个定片的阻值减小。当动片到一个定片的阻值减小时，动片到另一个定片的阻值增大。

### ★6.2.3 光敏电阻器、湿敏电阻器、气敏电阻器和压敏电阻器结构

#### 1. 光敏电阻器结构

如图 6-17 所示是光敏电阻器结构示意图和工作原理图。

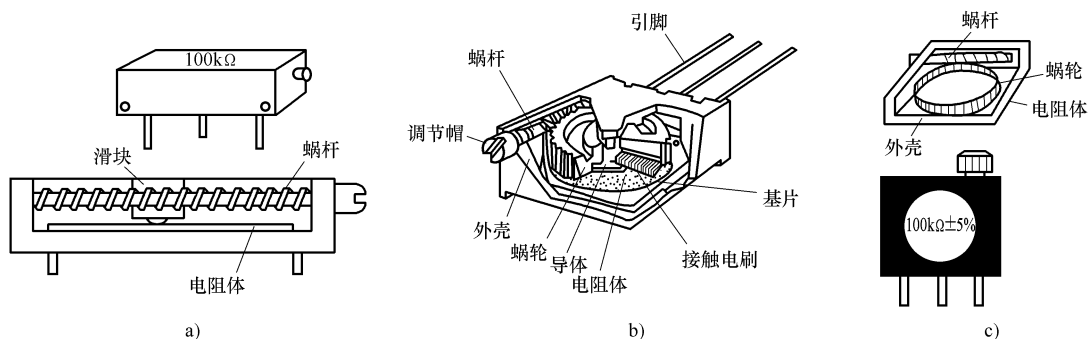


图 6-16 几种多圈电位器结构示意图

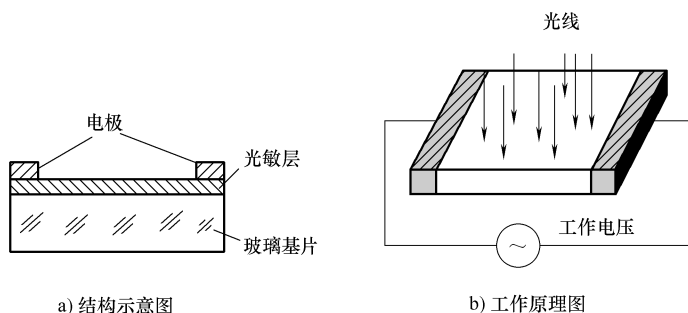


图 6-17 光敏电阻器结构示意图和工作原理图



### 重要提示

光敏电阻采用金属的硫化物、硒化物和碲化物等半导体材料制成，其基本原理是光电效应。如工作原理示意图所示，在光敏电阻两端的金属电极之间加上电压，其中便有电流通过，受到适当波长的光线照射时，电流就会随光强的增加而变大，从而实现光电转换。

## 2. 湿敏电阻器结构

如图 6-18 所示是湿敏电阻器结构示意图。湿敏电阻器由基片（绝缘片）、感湿材料和电极构成，感湿材料接收到湿度变化，电极之间阻值就发生改变，起到将湿度转换成电信号的作用。

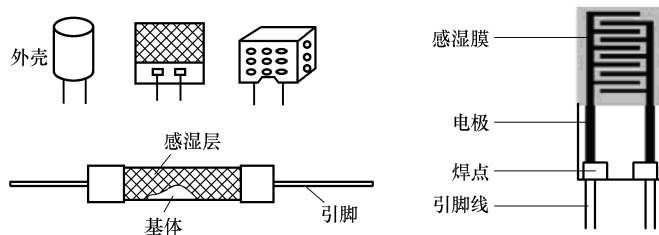


图 6-18 湿敏电阻器结构示意图

有的湿敏电阻器还设有防尘外壳。基体采用聚碳酸酯板、氧化铝、电子陶瓷等不吸水、耐高温的材料制成。

感湿层为微孔型结构，具有电解质特性。根据感湿层使用的材料和配方不同，它分为正电阻湿度特性（即湿度增大时，电阻值减小）。

## 3. 带加热线圈湿敏电阻器结构

如图 6-19 所示是带加热线圈的湿敏电阻器结构示意图。它采用新型功能陶瓷制成，最大的特点是：测湿范围宽，阻抗值适中，耐高温，可靠性高，可反复热清洗以恢复原始特性等。这些优于现今使用的盐类、有机高分子等材料所制成的测湿元件。

#### 4. 氯化锂湿敏电阻器结构

如图 6-20 所示是氯化锂湿敏电阻器结构示意图。在聚苯乙烯圆筒上绕制两根相互平行的钽引线作电极，然后在它上面涂敷一层经过适当碱化处理的聚乙烯醋酸盐和氯化钠水溶液的混合体，干燥后形成感湿薄膜。由于感湿膜可吸附或释放水分子而改变其电阻值，通过检测电极间的电阻值即可得知相对湿度的大小。

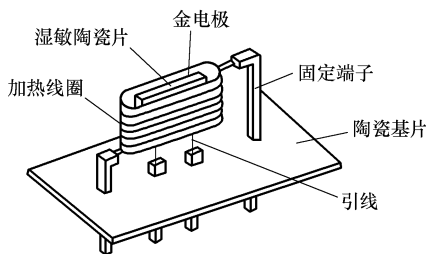


图 6-19 带加热线圈湿敏电阻器结构示意图

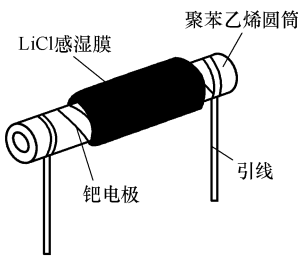


图 6-20 氯化锂湿敏电阻器结构示意图

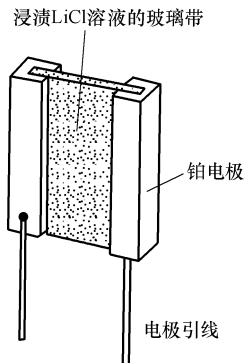


图 6-21 板状氯化锂湿敏电阻器结构示意图

#### 5. 板状氯化锂湿敏电阻器结构

如图 6-21 所示是板状氯化锂湿敏电阻器结构示意图。它是在无碱玻璃带上浸渍氯化锂溶液而构成的湿敏元件。铂电极采用压制方法与玻璃带密切结合成一体，然后由焊接的引线引出。

#### 6. 气敏电阻器结构

如图 6-22 所示是气敏电阻器结构示意图。从图中可以看出，气敏器件主要由防爆网、管座、电极、玻璃基体、加热丝和氧化物半导体等几部分组成。

#### 7. 压敏电阻器结构

压敏电阻器与普通电阻器不同，它是根据半导体材料的非线性特性制成的。如图 6-23 所示是氧化锌压敏电阻器内部结构示意图。

### ★6.2.4 电容器基本结构、纸介电容器和贴片多层陶瓷电容器结构

#### 1. 电容器基本结构

如图 6-24 所示是电容器的基本结构示意图。电容器由两块极板构成，两极板之间为绝缘介质，在两极板上分别引出一根引脚，这样可以构成电容器。无论哪种电容器，它的基本结构都这样。

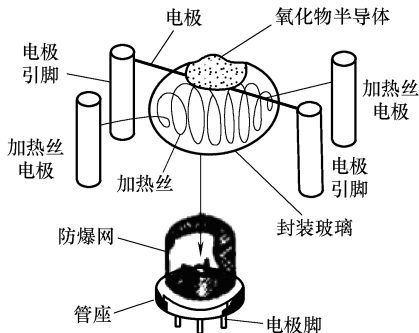


图 6-22 气敏电阻器结构示意图

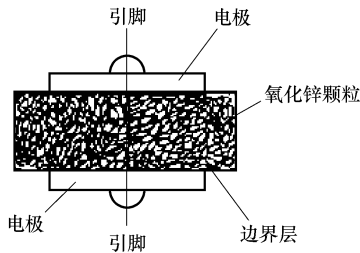


图 6-23 氧化锌压敏电阻器内部结构示意图



### 重要提示

电容器的结构非常简单，保证两极板之间是绝缘的，如果两极板之间已接通，就不是电容器。电容器的电路符号中也表达了这一点，即两条平行横线表示两极性之间绝缘。

## 2. 纸介电容器结构

如图 6-25 所示是纸介电容器结构示意图。

## 3. 贴片多层陶瓷电容器结构

贴片多层陶瓷电容器又称贴片独石电容器，如图 6-26 所示是贴片多层陶瓷电容器外形结构示意图。

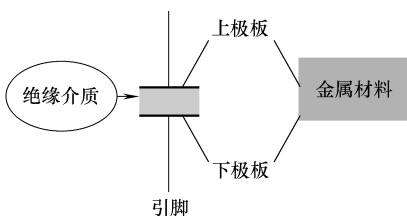


图 6-24 电容器基本结构示意图

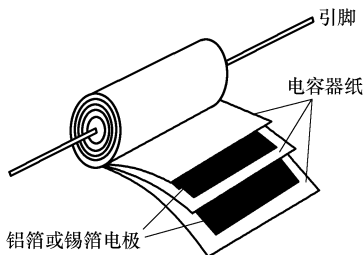


图 6-25 纸介电容器结构示意图

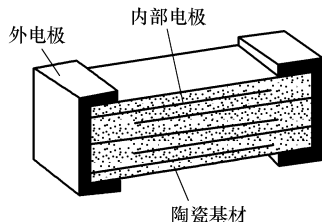


图 6-26 贴片多层陶瓷电容器外形结构示意图

## ★6.2.5 有极性和无极性电解电容器、拉线微调电容器结构

### 1. 有极性电解电容器结构



### 重要提示

有极性电解电容器结构与无极性电解电容器结构有所不同，正是由于这一结构上的不同，两种电解电容器的引脚极性不同。

电解电容器的基本结构是浸在电解液中的两个极板，如图 6-27 所示。

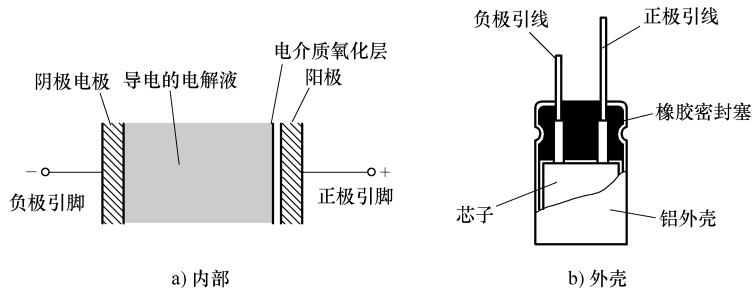


图 6-27 电解电容器基本结构

如图 6-28 是有极性电解电容器内部结构示意图，图 6-28a 是功能结构示意图。图 6-28b 所示是一个铝电解电容器，分别用两层铝箔作为电容器的正、负极板，在这个正、负极板上分别引出正、负极性引脚。

在两铝箔之间用电解纸隔开，使电容器的两极板绝缘。然后，将整个铝箔紧紧地卷起来，浸渍工作电解质（大多为糊状液体），再用外壳密封起来，这就是有极性电解电容器的结构。

图 6-28b 所示，有极性电解电容器的介质就是氧化膜，它类似于晶体管中的 PN 结，具有单向导电特性。当电解电容器的正极引脚接高电位、负极引脚接低电位时，氧化膜处于阻流状态，如同 PN 结处于反向偏置状态，正、负极板之间的电流很小，电解电容器正常工作。

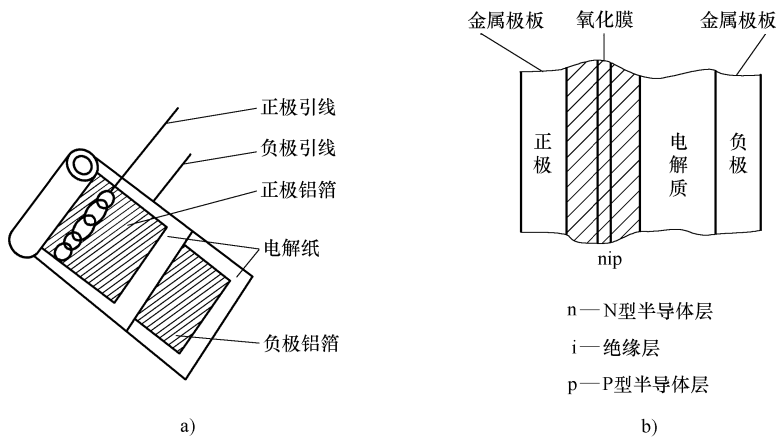


图 6-28 有极性电解电容器内部结构示意图



重要提示

当负极引脚接高电位、正极引脚接低电位时，氧化膜处于通流状态，如同 PN 结的正向导通一样，两极板之间的电流很大，将失去电容器的作用。注意，这种正、负引脚接反后还会发生爆炸现象。

电容器有极性是因为内部结构的原因，内部类似存在一个 PN 结。只有对这一“PN 结”加上反向电压时，有极性电解电容器才能正常工作，如图 6-29 所示。

2. 无极性电解电容器结构

无极性电解电容器是电解电容器中的一种，又称为双极性电解电容器，如图 6-30 所示是它的功能结构示意图。

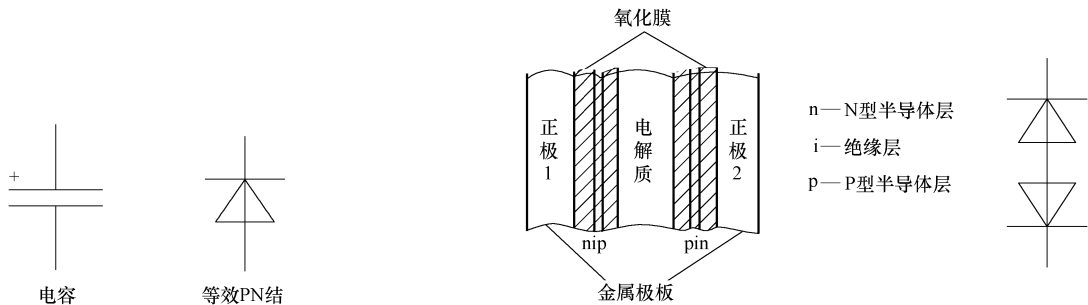


图 6-29 示意图

图 6-30 无极性电解电容器功能结构示意图

从图中可以看出，这种电解电容器有两个氧化膜，且两个氧化膜一个为 nip，另一个为 pin，它相当于两个 PN 结背靠背，如图 6-30 所示。这样，无论正极 1 还是正极 2 中的哪一个加上高电位，另一个引脚加有低电位时，两个氧化膜中始终有一个处于通流状态，另一个处于阻流状态，使两极板之间无较大的电流流过，克服了有极性电解电容器两根引脚有正、负之分的不足。



重要提示

无极性电解电容器由于采用了双氧化膜结构，使电解电容器的引脚变成了无极性，同时又保留了电解电容器的一些优点。不过，无极性电解电容器的成本比有极性电解电容器高，有的要高得多。

电解电容器具有体积小、容量大、成本低的优点，但是它的两根引脚有正、负极性之分，这使它的使用范围受到了限制，而无极性电解电容器可克服成本低之外的不足。

3. 拉线微调电容器结构

如图 6-31 所示是拉线微调电容器结构示意图。这种微调电容器只能作减小容量的调整，即拉



下绕的导通，拉下的圈数多，容量就小。

★6.2.6 电感器和贴片电感器结构

1. 电感器结构

最简单的电感线圈就是用导线空心地绕几圈，有磁心或铁心的电感器是在磁心或铁心上用导线绕几圈。

通常情况下，电感器由铁心或磁心、骨架和线圈等组成。其中，线圈绕在骨架上，铁心或磁心插在骨架内，如图 6-32 所示是几种线圈结构示意图。

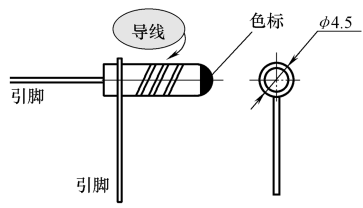


图 6-31 拉线微调电容器结构示意图



重要提示

无论哪种电感器，都是用导线绕几圈而成，根据绕的匝数不同、有无磁心，电感器电感量的大小也不同，但是电感器所具有的特性相同。

2. 贴片电感器结构

如图 6-33 所示是线绕贴片电感器结构示意图。

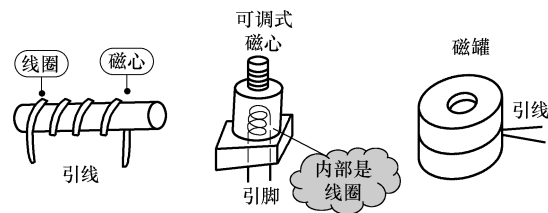


图 6-32 几种线圈结构示意图

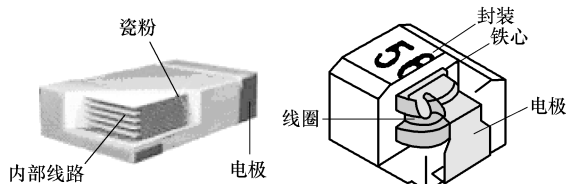


图 6-33 线绕贴片电感器结构示意图

★6.2.7 共模电感器和差模电感器结构

1. 共模电感器结构

如图 6-34 所示是共模电感器结构示意图。

共模电感器的两组线圈绕在磁环上，绕相同的匝数，同一个方向绕制，只是一组线圈绕在左侧，另一组线圈绕在右侧。共模线圈采用高磁导率的锰锌铁氧体或非晶材料，以提高共模线圈性能。

2. 差模电感器结构

如图 6-35 所示是差模电感器结构示意图，显然它与共模电感器不同。

★6.2.8 行线性调节器、变压器、振荡线圈和中频变压器结构

1. 行线性调节器结构

如图 6-36 所示是行线性调节器结构示意图。从图中可以看出，整个行线性调节器由一块可调节的小永久磁铁、“I”字形铁氧磁心和绕在磁心上的线圈组成。

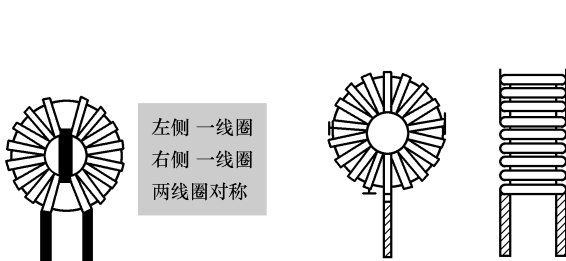


图 6-34 共模电感器结构示意图

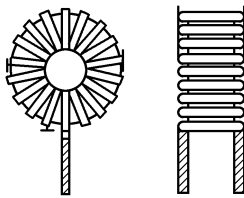


图 6-35 差模电感器结构示意图

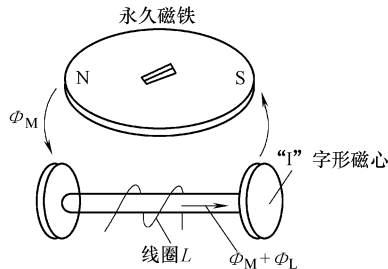


图 6-36 行线性调节器结构示意图

从图中可以看出,通过磁心截面的磁通由下列两部分组成:

- 1) 线圈  $L$  产生的磁通  $\Phi_L$ 。
- 2) 永久磁铁产生的磁通  $\Phi_M$ , 通过磁心截面的磁通  $\Phi_L$  和  $\Phi_M$  方向一致。

由于磁心截面的面积较小,故有较大磁通后磁心便处于饱和状态。当磁心饱和之后,将使线圈  $L$  的电感量下降。调节小永久磁铁的位置(方向),便可改变通过磁心截面的  $\Phi_M$  大小,即可以改变给磁心的预加磁通的大小。

当这一预加的磁通大时,只要有较小的电流流过线圈  $L$ ,磁心便能饱和,使  $L$  的电感量小,反之预加的磁通小时,  $L$  的电感量大。

## 2. 变压器结构

### 重要提示

无论哪种变压器,它们的基本结构和工作原理是相似的,只是根据不同的工作需要,在一些细节上有所不同,如高频变压器需要采用高频磁心等。

如图 6-37 所示是变压器结构示意图。

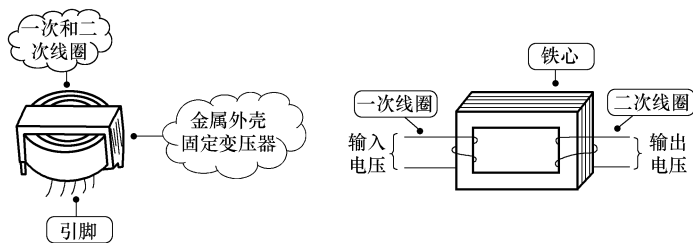


图 6-37 变压器结构示意图

1) 线圈。一次和二次线圈是变压器的核心部分,变压器中的电流由它构成回路。一次线圈与二次线圈之间高度绝缘,如果二次线圈有多组时,则各组线圈之间也要高度绝缘。各组线圈与变压器其他部件之间也要高度绝缘。

2) 骨架。线圈绕在骨架上。一个变压器通常只有一个骨架,一次和二次线圈均绕在骨架上。骨架用绝缘材料制成,骨架套在铁心或磁心上。

3) 铁心或磁心。铁心或磁心用来构成磁路。铁心或磁心用导磁材料制成,它的磁阻很小。有的变压器没有铁心或磁心,这并不妨碍变压器的工作,因为各种用途的变压器对铁心或磁心有不同的要求。

### 3. 振荡线圈和中频变压器结构

如图 6-38 所示是振荡线圈和中频变压器结构示意图。

它的外形是长方体的,为金属外壳。引脚在底部,分成两列分布,最多为六根引脚,一般少于六根引脚,各引脚之间不能互换使用。顶部有一个可以调整的缺口,并有不同的颜色标记。

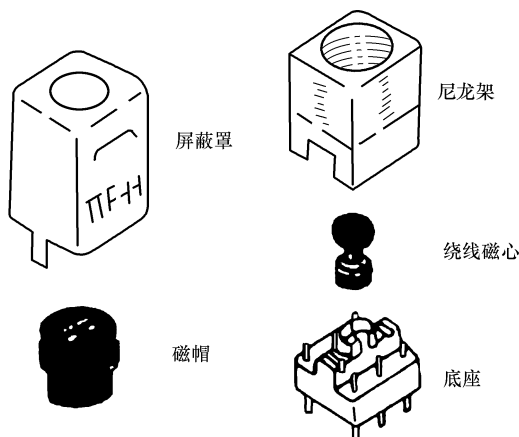


图 6-38 振荡线圈和中频变压器结构示意图

### 重要提示

中频变压器按照用途划分有调幅收音电路用中频变压器,其谐振频率为 465kHz,还有调频收

音机用中频变压器，其谐振频率为 10.7MHz。

★6.2.9 肖特基二极管和光敏二极管结构

1. 肖特基二极管结构

如图 6-39 所示是肖特基二极管内部结构示意图。肖特基二极管具有更低的串联电阻和更强的非线性，适合于在射频电路中应用。

 **重要提示**

某些金属和 N 型半导体材料接触后，电子会从 N 型半导体材料中扩散进入金属从而在半导体材料中形成一个耗尽层，具有和常规 PN 结类似的特性，这种由金属和半导体材料接触形成类似 PN 结势垒的结构称为肖特基结。

当在肖特基势垒两端加上正向偏压（阳极金属接电源正极，N 型基片接电源负极）时，肖特基势垒层变窄，其内阻变小。如果在肖特基势垒两端加上反向偏压时，肖特基势垒层则变宽，其内阻变大，如图 6-40 所示。

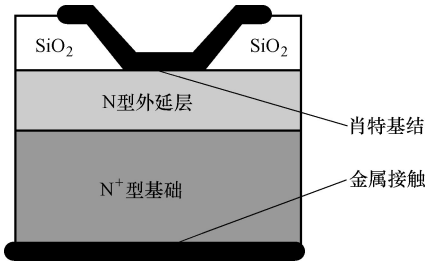
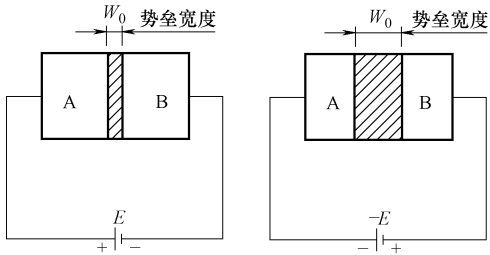


图 6-39 肖特基二极管内部结构示意图



a) 正向偏置电压      b) 反向偏置电压

图 6-40 示意图

2. 光敏二极管结构

如图 6-41 所示是光敏二极管结构示意图。光敏二极管的结构与一般二极管相似，它的 PN 结装在透明玻璃外壳中，它的 PN 结装在管顶，可直接受光照射。

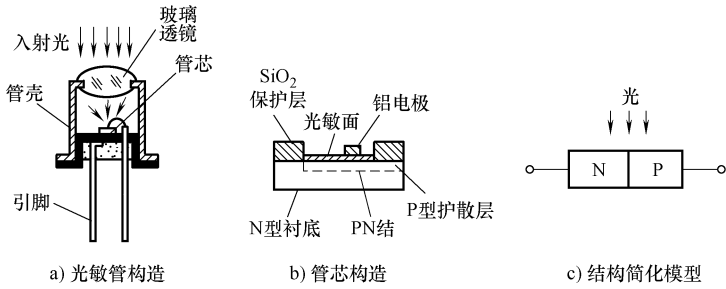


图 6-41 光敏二极管结构示意图

★6.2.10 晶体管结构

1. NPN 型晶体管结构

如图 6-42 所示是 NPN 型晶体管示意图，晶体管由三块半导体构成，对于 NPN 型晶体管而言，由两块 N 型和一块 P 型半导体组成，P 型半导体在中间，两块 N 型半导体在两侧，这两块半导体所引出的电极名称如图 6-42 所示。



重要提示

在 P 型和 N 型半导体的交界面处形成两个 PN 结，这个 PN 结与二极管 PN 结具有相似的特性。

## 2. PNP 型晶体管结构

如图 6-43 所示是 PNP 型晶体管示意图，它与 NPN 型晶体管基本相似，只是用了两块 P 型半导体，一块 N 型半导体，也是形成两个 PN 结，但极性不同。

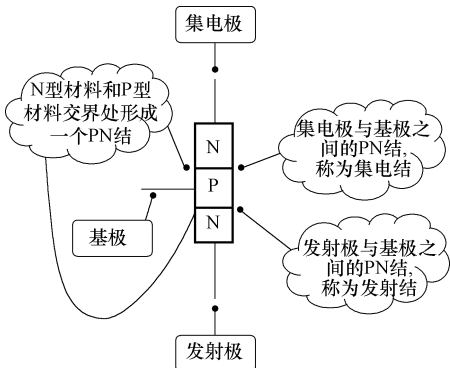


图 6-42 NPN 型晶体管示意图

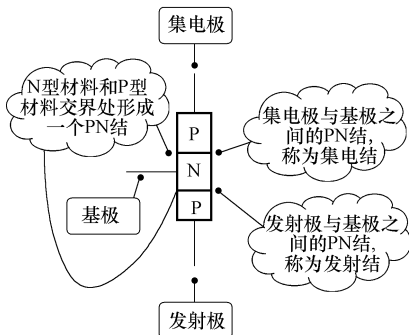


图 6-43 PNP 型晶体管示意图

## ★6.2.11 场效应晶体管结构

### 1. 结型场效应晶体管结构

如图 6-44 所示是 N 沟道结型场效应晶体管结构示意图。从图中可以看出，它使用一块 N 型半导体，在它的上、下各引出一个电极，分别称为漏极 D 和源极 S。在 N 型半导体两侧，各设一小块 P 型半导体，将它们连起来作为栅极 G。这样，G 与 S 之间、G 与 D 之间各出现了一个 PN 结。

### 2. 绝缘栅场效应晶体管结构

如图 6-45 所示是 N 沟道绝缘栅场效应晶体管结构示意图。在两个 N 型区之间再形成一个 N 型硅薄层，于是形成 N 型沟道。在 N 沟道上面加一层绝缘材料二氧化硅，在绝缘层上面加一个铝层电极，作为栅极 G。

在 G、S 极之间加一个电压，那么 G 极铝层与 P 型衬底之间如同是以绝缘层为介质的平行板电容器。改变 G、S 极之间的电压大小，可以改变 N 型沟道的电阻。

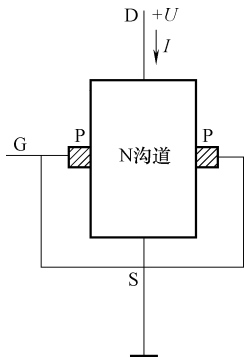


图 6-44 N 沟道结型场效应晶体管结构示意图

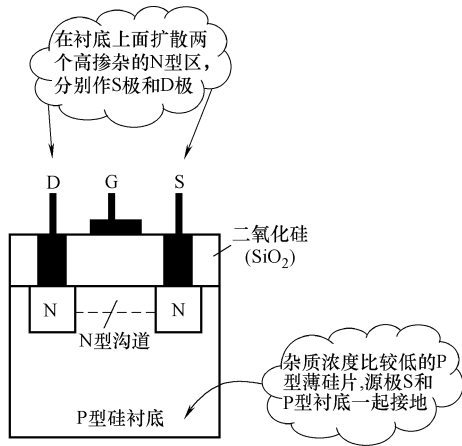


图 6-45 N 沟道绝缘栅场效应晶体管结构示意图



### 重要提示

G、S 极之间电压增大时，N 型导电沟道变厚，沟道电阻减小，在相同的 D、S 极电压下流过沟道的电流便增大。G、S 极之间电压减小时，N 型导电沟道变薄，沟道电阻增大，流过沟道的电流便减小。改变 G、S 极之间电压大小，可控制流过沟道的电流大小，即控制漏极电流的大小。

## ★6.2.12 晶闸管结构

### 1. 普通晶闸管结构

如图 6-46 所示是晶闸管结构示意图。从图中能够看出，它是一个有 3 个 PN 结的 4 层半导体器件。由最外面一层的 P 型材料引出一个电极作为阳极 A。由最外面一层的 N 型材料引出一个电极作为阴极 K。中间的 P 型材料引出一个电极作为控制极 G。4 层半导体之间分别形成 3 个 PN 结，分别是 J1、J2 和 J3。

### 2. 门极关断晶闸管结构

如图 6-47 所示是门极关断晶闸管结构示意图。

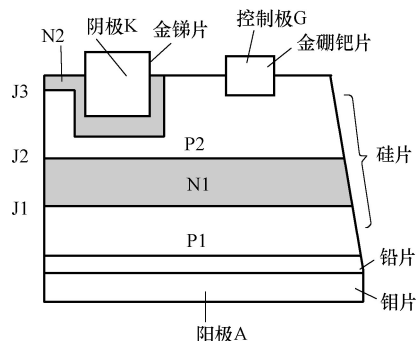


图 6-46 晶闸管结构示意图

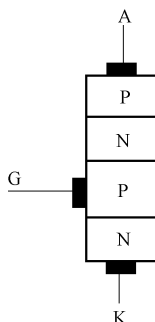


图 6-47 门极关断晶闸管结构示意图

## ★6.2.13 光耦合器、真空三极管、电动式扬声器和晶体振荡器内部结构

### 1. 光耦合器结构

如图 6-48 所示是光耦合器结构示意图。光耦合器的基本结构是将光发射器（红外发光二极管，LED）和光敏器（硅光电探测敏感器件，如光敏晶体管）的芯片封装在同一外壳内，并用透明树脂灌封填充作光传递介质，通常将光发射器的引脚作输入端，光敏器的引脚作为输出端。



### 重要提示

当输入端加电信号时，光发射器发出光信号，这是由电转换成光的过程，光信号通过透明树脂光导介质投射到光敏器后，转换成电信号输出，这是由光转换成电的过程，这样实现了以光为媒介的电→光→电信号转换传输，并在电气上输入回路和输出回路是完全隔离的。

### 2. 真空三极管结构（见图 6-49）

### 3. 电动式扬声器结构

如图 6-50 所示是电动式扬声器结构示意图。

### 4. 晶振内部结构

如图 6-51 所示是晶振内部结构示意图。电抗特性中， $f_s$  为串联谐振频率点， $f_p$  为并联谐振频率点。石英晶体振荡器的振荡频率既可近似工作于  $f_s$  处，也可工作在  $f_p$  附近，因此石英晶体振荡器可分串联型和并联型两种电路。



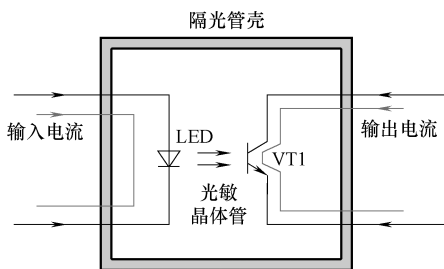


图 6-48 光耦合器结构示意图

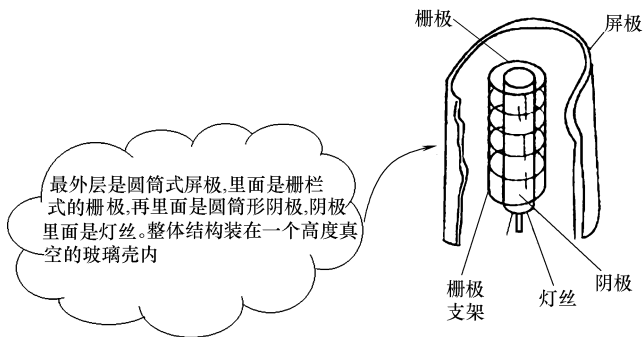


图 6-49 真空三极管结构示意图

## ★6.2.14 电磁继电器、磁头和直流有刷电机结构

### 1. 电磁继电器结构

如图 6-52 所示是电磁继电器结构示意图。它有常闭触点（未通电时闭合）和常开触点（未通电时断开），线圈用来通入控制电流。

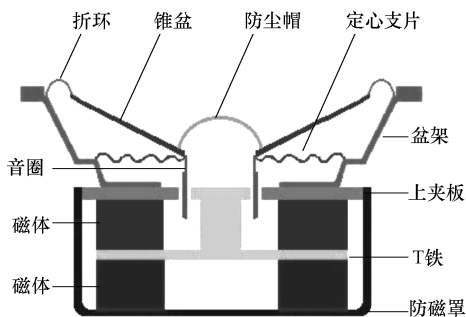


图 6-50 电动式扬声器结构示意图

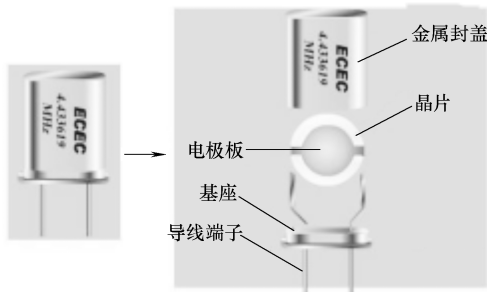


图 6-51 晶振内部结构示意图

电磁继电器工作原理是：当线圈通电以后，铁心被磁化产生足够大的电磁力，吸动衔铁并带动簧片，使动触点和静触点闭合或分开，即原来闭合的触点断开，原来断开的触点闭合；当线圈断电后，电磁吸力消失，衔铁返回原来的位置，动触点和静触点又恢复到原来闭合或分开的状态。应用时只要把需要控制的电路接到触点上，就可利用继电器达到控制的目的。



#### 重要提示

继电器的控制可以采用电流，也可以采用电压。电流继电器的线圈匝数少且线径较粗，能通过较大电流，线圈串联在控制回路中，它用电流作为控制信号，即要求有足够的控制电流。

电压继电器线圈匝数多且线径细，它与控制电路并联，它用电压作为控制信号，即要求有足够的控制电压（无电流要求）。

### 2. 磁头结构

如图 6-53 所示是磁头结构示意图。



#### 重要提示

固定螺钉孔用来固定磁头，方位角调整螺钉孔内装方位角调整螺钉，调整这一螺钉可以改变磁头的方位角。磁头工作表面是磁头与磁带接触的部位，工作表面处设有看不见的工作缝隙。

### 3. 直流有刷电机结构

如图 6-54 所示是直流有刷电机结构示意图。

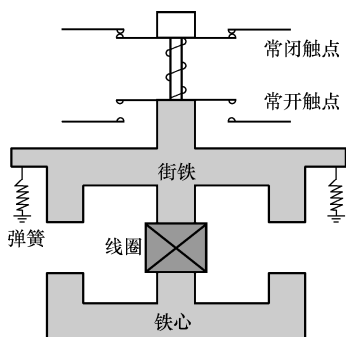


图 6-52 电磁继电器结构示意图

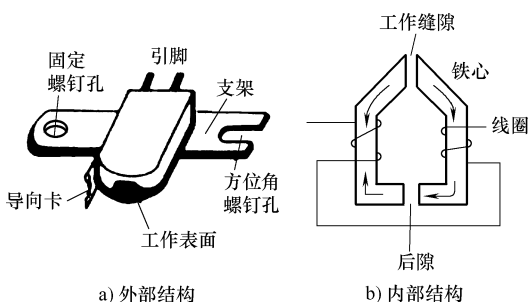


图 6-53 磁头结构示意图

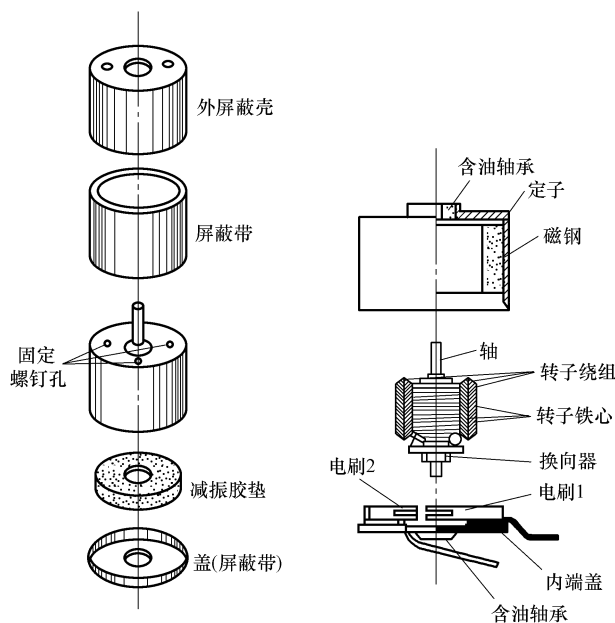


图 6-54 直流有刷电机结构示意图

### 6.3 数十种元器件等效电路和内电路查询平台

本节阅读建议：快速阅读，全面了解诸多元器件等效电路和内电路，学会使用查询平台，在电路识图和电路设计时查询本平台中资料。

本节难度系数：2 级。

本节记忆系数：3 级。



#### 重要提示

电子元器件的等效电路和内电路对电路分析非常有用，可以帮助理解该元器件在电路中的工作原理，可以深入了解该元器件的相关特性。

#### ★6.3.1 电阻器和压敏电阻器结构

##### 1. 电阻器等效电路

如图 6-55 所示是电阻器等效电路。等效电路中的  $R$  为电阻

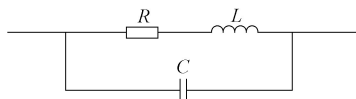


图 6-55 电阻器等效电路

器的标称阻值,  $L$  为分布电感,  $C$  为分布电容。由于分布电感  $L$  和分布电容  $C$  均很小, 所以当电阻器工作频率不是非常高时, 它们的影响都可以不考虑。

在工作频率很高的电路中, 应该使用高频电阻器, 它们的分布电感  $L$  和分布电容  $C$  比普通电阻器更小。

## 2. 贴片电容器等效电路

如图 6-56 所示是贴片电容器等效电路示意图, 从等效电路中可以看出, 电容器除电容外还有寄生电感  $L$  和寄生电阻  $R$ , 尽管  $L$  和  $R$  都很小, 但是在工作频率很高时电感会起作用,  $L$  与电容  $C$  构成一个  $LC$  串联谐振电路。

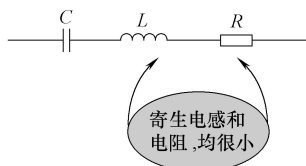


图 6-56 贴片电容器等效电路示意图

## ★6.3.2 贴片电容器、有引脚电容器、有极性电解电容器、大容量电解电容器和电感器等效电路

### 1. 压敏电阻器等效电路

如图 6-57 所示是压敏电阻器等效电路。等效电路中,  $R_n$  是晶界电阻,  $C$  是晶界电容,  $R_b$  是晶粒电阻。

### 2. 有引脚电容器等效电路

如图 6-58 所示是有引脚电容器的等效电路, 它与贴片电容器相比等效电路中多了引脚分布电感, 它也有高频串联谐振的特性。

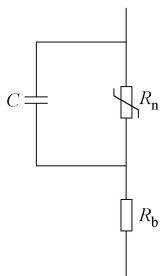


图 6-57 压敏电阻器等效电路

### 3. 有极性电解电容器等效电路

如图 6-59 所示是有极性电解电容等效电路, 这是没有考虑引脚分布参数时的等效电路。等效电路中,  $C_1$  为电容,  $R_1$  为两电极之间漏电阻,  $VD_1$  为具有单向导通特性的氧化膜。

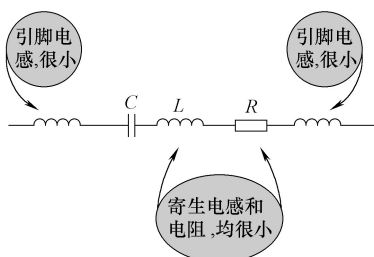


图 6-58 有引脚电容器等效电路

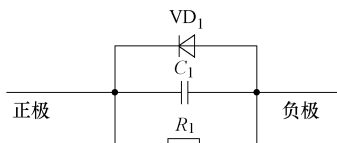


图 6-59 有极性电解电容等效电路

### 4. 大容量电解电容器等效电路

电解电容器是一种低频电容器, 即它主要工作在频率较低的电路中, 不宜工作在频率较高的电路中, 因为电解电容器的高频特性不好, 容量很大的电解电容器其高频特性更差, 如图 6-60 所示是大容量电解电容器的等效电路, 从中可以找到大容量电解电容器高频特性差的原因。

从等效电路中可以看出, 串联一只等效电感  $L_0$ , 当电解电容的容量越大时, 等效电感  $L_0$  也越大, 高频特性越差。

### 5. 电感器等效电路

电感器固有电容又称分布电容和寄生电容, 它是由各种因素造成的, 相当于并联在电感线圈两端的一个总的等效电容。如图 6-61 所示是电感器的等效电路, 电容  $C$  为电感器的固有电容,  $R$  为线圈的直流电阻,  $L$  为电感。

电感  $L$  与等效电容  $C$  构成一个  $LC$  并联谐振电路, 这一电路将影响电感器的有效电感量的稳定性。

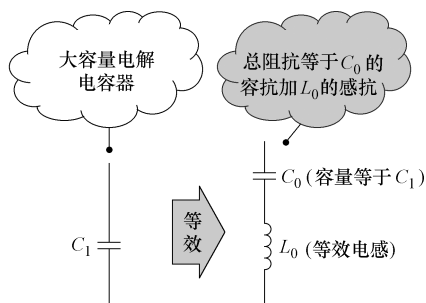


图 6-60 大容量电解电容器等效电路

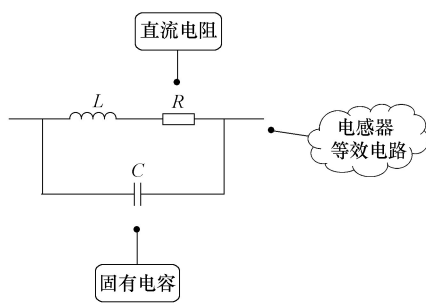


图 6-61 电感器等效电路



### 重要提示

当电感器工作在高频电路中时，由于频率高，容抗小，所以等效电容的影响大，为此要尽量减小电感线圈的固有电容。

当电感器工作在低频电路中时，由于等效电容的容量很小，工作频率低时它的容抗很大，故相当于开路，所以对电路工作影响不大。

不同应用场合对电感器不同参数的要求是不同的，只有了解了这些参数的具体含义，才能正确使用这些参数。

## ★6.3.3 变容二极管、普通晶闸管、双向触发二极管、逆导晶闸管、双向晶闸管、四极晶闸管、BTG 晶闸管和光控晶闸管等效电路

### 1. 变容二极管等效电路

如图 6-62 所示是变容二极管等效电路。等效电路中的  $C$  为可变结电容，它可以近似看成为变容二极管的总电容，它包括结电容、外壳电容及其他分布电容。 $R$  是串联电阻，它包括 PN 结电阻、引线电阻及接线电阻。 $L$  是引线电感。

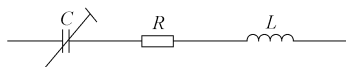
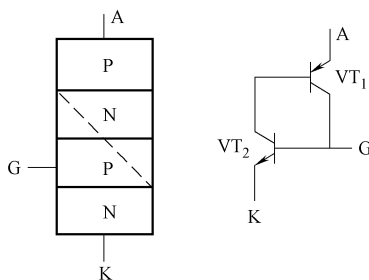


图 6-62 变容二极管等效电路

### 2. 普通晶闸管等效电路

如图 6-63 所示是普通晶闸管结构示意图和等效电路。从等效电路中可以看出，普通晶闸管相当于两只晶体管进行一定方式的连接后的电路。



a) 结构示意图 b) 等效电路

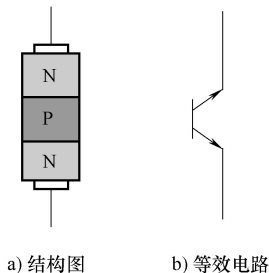
图 6-63 普通晶闸管结构示意图

### 3. 双向触发二极管

如图 6-64 所示是双向触发二极管结构示意图和等效电路。

### 4. 逆导晶闸管等效电路

如图 6-65 所示是逆导晶闸管等效电路。从等效电路中可以看出，逆导晶闸管相当于在普通晶闸管上反向并联一只二极管。



a) 结构图 b) 等效电路

图 6-64 双向触发二极管结构示意图和等效电路

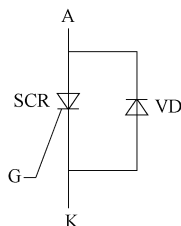


图 6-65 逆导晶闸管等效电路

## 5. 双向晶闸管等效电路

如图 6-66 所示是双向晶闸管结构示意图和等效电路。从等效电路中可以看出，双向晶闸管相当于两只普通晶闸管反向并联。

## 6. 四极晶闸管等效电路

如图 6-67 所示是四极晶闸管结构示意图和等效电路。

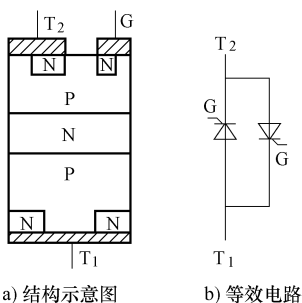


图 6-66 双向晶闸管结构示意图和等效电路

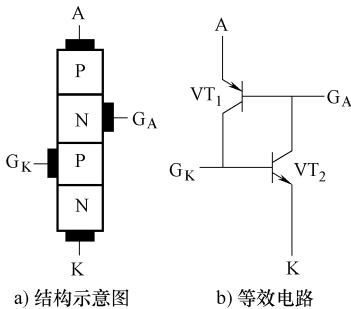


图 6-67 四极晶闸管结构示意图和等效电路

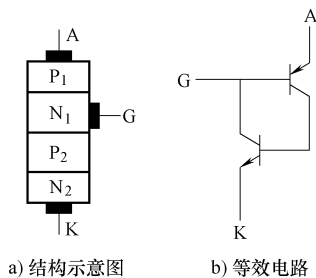


图 6-68 BTG 晶闸管结构示意图和等效电路

## 7. BTG 晶闸管等效电路

如图 6-68 所示是 BTG 晶闸管结构示意图和等效电路。

## 8. 光控晶闸管等效电路

如图 6-69 所示是光控晶闸管结构示意图和等效电路。

### ★6.3.4 石英晶体振荡器和陶瓷滤波器等效电路

#### 1. 石英晶振等效电路

如图 6-70 所示是晶振等效电路。从等效电路中可以看出，石英晶振相当于一个  $LC$  串联谐振电路。

#### 2. 陶瓷滤波器等效电路

如图 6-71 所示是陶瓷滤波器等效电路。陶瓷滤波器由一个或多个压电振子组成，双端陶瓷滤波器等效为一个  $LC$  串联谐振电路。由  $LC$  串联谐振电路特性可知，谐振时该电路的阻抗最小，且为纯阻性。不同场合下使用的双端陶瓷滤波器其谐振频率不同。

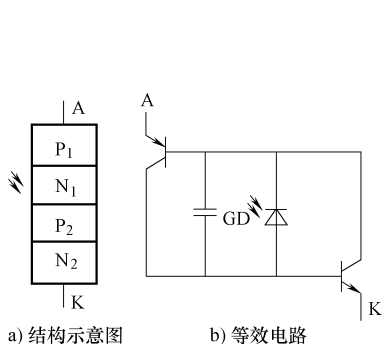


图 6-69 光控晶闸管结构示意图和等效电路

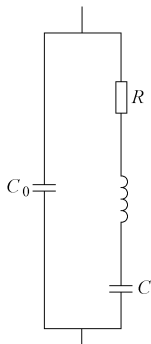


图 6-70 晶振等效电路

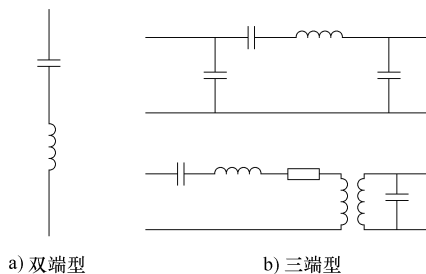


图 6-71 陶瓷滤波器等效电路

#### 重要提示

三端陶瓷滤波器相当于一个双调谐中频变压器，故比双端陶瓷滤波器的滤波性能要更好些。



★6.3.5 普通复合管（达林顿管）内电路、大功率复合管和带阻尼管的行管等效电路

1. 普通复合管（达林顿管）内电路

复合管电路共有 4 种。复合管用两只晶体管按一定方式连接起来，等效成一只晶体管，如图 6-72 所示是四种复合管等效电路。

复合管极性识别绝招：两只晶体管复合后的极性取决于第一只晶体管的极性。

2. 大功率复合管

如图 6-73 所示是两种大功率复合管内电路，从内电路中可以看出，它设有过电压保护电路（采用稳压二极管）。

3. 带阻尼管的行管等效电路

如图 6-74 所示是带阻尼管的行管电路符号和等效电路。

| 复合管电路 | 等效电路 |
|-------|------|
|       |      |
|       |      |
|       |      |
|       |      |

图 6-72 四种复合管等效电路

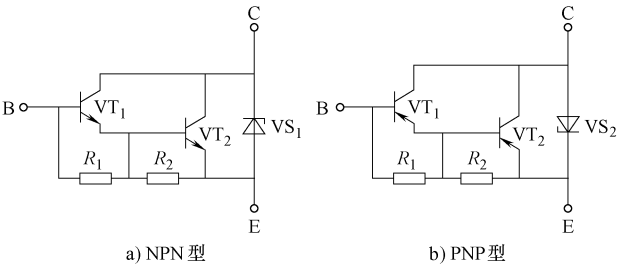


图 6-73 两种大功率复合管内电路

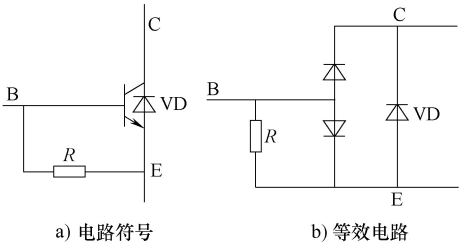


图 6-74 带阻尼管的行管电路符号和等效电路



重要提示

行输出级电路中需要一只阻尼二极管，在一些行输出晶体管内部设置了这一阻尼二极管，在电路中行输出管的电路符号中会表示出来。

这种晶体管内部在基极和发射极之间还接入一只  $25\Omega$  的小电阻  $R$ 。将阻尼二极管设在行输出管的内部，减小了引线电阻，有利于改善行扫描线性和减小行频干扰。基极与发射极之间接入的电阻是为了适应行输出管工作在高反向耐压的状态。

阅读完成时间：\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日，用时\_\_\_\_天。

签 名：\_\_\_\_\_

阅读体会：（请写 10 个收获最大的知识点关键词）

阅读困惑：（请写 10 个最难理解的知识点关键词）



第7章

百种元器件主要参数、特性和曲线查询平台

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日  
本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！

7.1

数十种元器件主要参数查询平台

本节阅读建议：详细阅读，全面掌握诸多元器件主要参数的含义，学会使用查询平台。  
本节难度系数：2级。  
本节记忆系数：7级。

★7.1.1 电阻器主要参数

1. 电阻器标称阻值系列

重要提示

在使用中，我们最关心的是电阻器的阻值有多大，这一阻值称为电阻器的标称阻值。例如，某电阻器标称阻值是9kΩ。

生产厂家为了使用的需要，生产了很多阻值的电阻器。为了方便生产和使用，国标规定了一系列阻值作为产品的标准，即标称阻值系列。

表7-1 是我国E6、E12、E24电阻器标称阻值系列。

表 7-1 我国 E6、E12、E24 电阻器标称阻值系列

| 允 许 偏 差 |      |      |
|---------|------|------|
| ±5%     | ±10% | ±20% |
| E24     | E12  | E6   |
| 1.0     | 1.0  | 1.0  |
| 1.1     |      |      |
| 1.2     | 1.2  |      |
| 1.3     |      |      |
| 1.5     | 1.5  | 1.5  |
| 1.6     |      |      |
| 1.8     | 1.8  |      |
| 2.0     |      |      |
| 2.2     | 2.2  | 2.2  |
| 2.4     |      |      |
| 2.7     | 2.7  |      |



(续)

| 允许偏差      |            |            |
|-----------|------------|------------|
| $\pm 5\%$ | $\pm 10\%$ | $\pm 20\%$ |
| 3.0       |            |            |
| 3.3       | 3.3        | 3.3        |
| 3.6       |            |            |
| 3.9       | 3.9        |            |
| 4.3       |            |            |
| 4.7       | 4.7        | 4.7        |
| 5.1       |            |            |
| 5.6       | 5.6        |            |
| 6.2       |            |            |
| 6.8       | 6.8        | 6.8        |
| 7.5       |            |            |
| 8.2       | 8.2        |            |
| 9.1       |            |            |



#### 重要提示

从表中可以看出 E12 系列中找不到  $1.1 \times 10^n$  电阻器，只能在 E24 系列中找到它。表中各数  $\times 10^n$  可得到不同的电阻值。

例如： $1.1 \times 10^n$  ( $n=3$ ) 为  $1.1\text{k}\Omega$  电阻器。 $n$  是正整数或负整数。 $1 \times 10$  为  $10\Omega$  电阻器。

### 2. 电阻器允许偏差参数

在电阻器生产过程中，由于生产成本的考虑和技术原因不可能制造出与标称阻值完全一致的电阻器，不可避免存在着一些偏差。所以，规定了一个允许偏差参数。



#### 重要提示

不同电路中，由于对电路性能的要求不同，也就可以选择不同误差的电阻器，这是出于生产成本的考虑，误差大的电阻器成本低，这样整个电路的生产成本就低。

常用电阻器的允许偏差为  $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。精密电阻器的允许偏差要求更高，如  $\pm 2\%$ 、 $\pm 0.5\%$  等。

### 3. 电阻器额定功率参数

额定功率也是电阻器的一个常用参数。它是指在规定的的大气压力下和特定的环境温度范围内，电阻器所允许承受的最大功率，单位用 W 表示，一般电子电路中使用  $1/8\text{W}$  电阻器。通常额定功率大，电阻器体积大。

对于电阻器而言，它所能够承受的功率负载与环境温度有关。电阻器在高温下很容易烧坏。

### 4. 温度系数

它是温度每变化  $1^\circ\text{C}$  所引起的电阻值的相对变化。阻值随温度升高而增大的为正温度系数，反之则为负温度系数。温度系数越小，电阻的稳定性越好。

### 5. 噪声

它是产生于电阻器中的一种不规则的电压起伏，包括热噪声和电流噪声两部分，热噪声是由于导体内部不规则的电子自由运动，使导体任意两点的电压不规则变化。噪声越小越好。

### 6. 最高工作电压

它是允许的最大连续工作电压。低气压工作时，最高工作电压较低。

### 7. 电压系数

它是规定的电压范围内，电压每变化  $1\text{V}$ ，电阻器的相对变化量。它越小越好。



8. 老化系数

它是电阻器在额定功率长期负载下，阻值相对变化的百分数，它是表示电阻器寿命长短的参数。

★7.1.2 熔断电阻器主要参数

熔断特性是熔断电阻器的最重要指标，它是指电路的实际功耗为额定功率数倍时，连续负载运行一定时间后，在规定的环境温度范围内保证电阻器熔断。

表 7-2 是膜式熔断电阻器主要技术指标。

表 7-2 膜式熔断电阻器主要技术指标

| 额定功率/W | 阻值范围       | 允许误差   | 开路电压/V | 最高负载电压/V |
|--------|------------|--------|--------|----------|
| 0.5    | 1Ω ~ 5.1kΩ | ± 0.5% | 150    | 300      |
| 1      |            |        |        |          |
| 2      |            |        | 200    | 400      |
| 3      |            |        |        |          |

★7.1.3 PTC 热敏电阻器主要参数

1. 室温电阻值  $R_{25}$

它又叫标称阻值，是指电阻器在 25℃ 下工作时的阻值。用万用表测其阻值时，其阻值不一定和标称阻值相符。

2. 最低电阻值  $R_{\min}$

它是指曲线中最低点的电阻，对应的温度为  $T_{\min}$ 。

3. 最大电阻  $R_{\max}$

它是指元件零功率时，阻值—温度特性曲线上的最大电阻。从曲线中可以看出，当温度比最大电阻值温度还要高时，PTC 热敏电阻器的阻值回落，成为负温度特性。由于电阻减小，功率增大，温度进一步升高，电阻再减小，这一循环将导致电阻器的损坏。

4. 温度  $T_p$

它是指元件承受最大电压时所允许达到的温度。

★7.1.4 压敏电阻器主要参数

1. 压敏电压

压敏电压又称击穿电压、阈值电压。它是指在规定电流下的电压值，大多数情况下用 1mA 直流电通入压敏电阻器时测得的电压值，其产品的压敏电压范围可以从 10 ~ 9000V 不等。

2. 最大允许电压

它是最大限制电压，分交流和直流两种情况。交流电压指的是该压敏电阻器所允许加的交流电压的有效值。

3. 通流容量

它是最大脉冲电流的峰值，即环境温度为 25℃ 情况下，对于规定的冲击电流波形和规定的冲击电流次数而言，压敏电压的变化不超过 ± 10% 时的最大脉冲电流值。

4. 最大限制电压

它是指压敏电阻器两端所能承受的最高电压值，它表示在规定的冲击电流通过压敏电阻时两端所产生的电压，这一电压又称为残压。

5. 最大能量

它又称能量耐量，它是压敏电阻所吸收的能量。一般来说压敏电阻器的片径越大，它的能量耐量越大，耐冲击电流也越大。



## 6. 电压比

它是指压敏电阻器的电流为 1mA 时产生的电压值与压敏电阻器的电流为 0.1mA 时产生的电压值之比。

## 7. 额定功率

它是在规定的环境温度下所能消耗的最大功率。

## 8. 最大峰值电流

以 8/20 $\mu$ s 标准波形的电流做一次冲击的最大电流值, 此时压敏电压变化率仍在  $\pm 10\%$  以内。

## 9. 残压比

流过压敏电阻器的电流为某一值时, 在它两端所产生的电压称为这一电流值的残压。残压比则是残压与标称电压之比。

## 10. 漏电流

它又称等待电流, 是指压敏电阻器在规定的温度和最大直流电压下, 流过压敏电阻器的电流。

## 11. 电压温度系数

它是指在规定的温度范围 (温度为 20 ~ 70 $^{\circ}$ C) 内, 压敏电阻器标称电压的变化率, 即在通过压敏电阻器的电流保持恒定时, 温度改变 1 $^{\circ}$ C 时压敏电阻两端的相对变化。

## 12. 电流温度系数

它是指在压敏电阻器的两端电压保持恒定时, 温度改变 1 $^{\circ}$ C 时, 流过压敏电阻器电流的相对变化。

## 13. 电压非线性系数

它是指压敏电阻器在给定的外加电压作用下, 其静态电阻值与动态电阻值之比。

## 14. 绝缘电阻

它是指压敏电阻器的引出线 (引脚) 与电阻体绝缘表面之间的电阻值。

## 15. 静态电容

它是指压敏电阻器本身固有的电容容量。

### ★7.1.5 光敏电阻器主要参数

#### 1. 暗电阻

光敏电阻器在室温和全暗条件下测得的稳定电阻值称为暗电阻, 或称暗阻。

#### 2. 亮电阻

光敏电阻器在室温和一定光照条件下测得的稳定电阻值称为亮电阻, 或称为亮阻。光敏电阻器的暗阻越大越好, 而亮阻越小越好, 这样光敏电阻器的灵敏度高。

#### 3. 暗电流

光敏电阻器暗电流是指在全暗照射时, 光敏电阻器在规定的电压下通过的电流。

#### 4. 亮电流

光敏电阻器在规定的电压受到光照时所通过的电流。亮电流与暗电流之差称为光电流。

#### 5. 最高工作电压

光敏电阻器最高工作电压是指光敏电阻器在额定功率下所允许承受的最高电压。

#### 6. 时间常数

光敏电阻器时间常数是光敏电阻器从光照跃变开始到稳定亮电流的 63% 时所需的时间。

#### 7. 电阻温度系数

光敏电阻器温度系数是指光敏电阻器在环境温度改变 1 $^{\circ}$ C 时, 其电阻值的相对变化。

#### 8. 灵敏度

光敏电阻器灵敏度是指光敏电阻器在有光照射和无光照射时电阻值的相对变化。



### ★7.1.6 湿敏电阻器主要参数

#### 1. 相对湿度

它是指在某一温度下，空气中所含水蒸气的实际密度与同一温度下饱和密度之比，通常用“RH”表示。例如：20% RH，则表示空气相对湿度为20%。

#### 2. 湿度温度系数

它是指在环境湿度恒定时，湿敏电阻器在温度每变化1℃时其湿度指示的变化量。

#### 3. 灵敏度

它是指湿敏电阻器检测湿度时的分辨率。

#### 4. 测湿范围

它是指湿敏电阻器的湿度测量范围。

#### 5. 湿滞效应

它是指湿敏电阻器在吸湿和脱湿过程中电气参数表现的滞后现象。

#### 6. 响应时间

它是指湿敏电阻器在湿度检测环境快速变化时，其电阻值的变化情况（反应速度）。

### ★7.1.7 气敏电阻器主要参数

#### 1. 加热功率

它是加热电压与加热电流的乘积。

#### 2. 允许工作电压范围

在保证基本电参数的情况下，气敏电阻工作电压允许变化范围。

#### 3. 工作电压

它是指工作条件下，气敏电阻两极间的电压。

#### 4. 加热电压

它是指加热器两端的电压。

#### 5. 加热电流

它是指通过加热器的电流。

#### 6. 灵敏度

它是指气敏电器在最佳工作条件下，接触气体后其电阻值随气体浓度变化的特性。如果采用电压测量法，其值等于接触某种气体前后负载电阻上电压降之比。

#### 7. 响应时间

气敏电阻器在最佳工作条件下，接触待测气体后，负载电阻的电压变化到规定值所需的时间。

#### 8. 恢复时间

气敏电阻器在最佳工作条件下，脱离被测气体后，负载电阻上电压恢复到规定值所需要的时间。

### ★7.1.8 磁敏电阻器主要参数

#### 1. 磁阻比

它是指在某一规定的磁感应强度下，磁敏电阻器的阻值与零磁感应强度下的阻值之比。

#### 2. 磁阻系数

它是指在某一规定的磁感应强度下，磁敏电阻器的阻值与其标称阻值之比。

#### 3. 磁阻灵敏度

它是指在某一规定的磁感应强度下，磁敏电阻器的电阻值随磁感应强度的相对变化率。



#### 4. 电阻温度系数

它是指在规定的磁感应强度和温度下，电阻值随温度的相对变化率与电阻值之比。

#### 5. 最高工作温度

它是指在规定的条件下，磁敏电阻器长期连续工作所允许的最高温度。

### ★7.1.9 电位器主要参数

#### 1. 标称阻值

标称阻值指两定片引脚之间的阻值，电位器的标称系列分线绕和非线绕电位器两种，常用的非线绕电位器标称系列是 1.0、1.5、2.2、3.2、4.7、6.8，再乘上 10 的  $n$  次方（ $n$  为正整数或负整数），单位为  $\Omega$ 。

#### 2. 允许偏差

非线绕电位器允许偏差分为 3 个等级，Ⅰ级为  $\pm 5\%$ ，Ⅱ级为  $\pm 10\%$ ，Ⅲ级为  $\pm 20\%$ 。

#### 3. 额定功率

它是指电位器在交流或直流电路中，当大气压力为 650 ~ 800mmHg、在规定环境温度下，所能承受的最大允许功耗。非线绕电位器的额定功率系列为 0.05W、0.1W、0.25W、0.5W、1W、2W、3W。

#### 4. 噪声

这是衡量电位器性能的一个重要参数，电位器的噪声有 3 种：

1) 热噪声。

2) 电流噪声。热噪声和电流噪声是动片触点不滑动时两定片之间的噪声，又称静噪声。静噪声是电位器的固定噪声，很小。

3) 动噪声。动噪声是电位器的特有噪声，是主要噪声。产生动噪声的原因很多，主要原因是电阻体的结构不均匀，及动片触点与电阻体的接触噪声，后者随着电位器使用时间的增加而变得越来越大。

### ★7.1.10 电容器主要参数

#### 1. 电容器容量概念

电容器的容量大小表征了电容器存储电荷多少的能力，它是电容器的重要参数，不同电路功能会选择不同容量大小的电容器。电容器容量大小用大写字母  $C$  表示，容量大小  $C$  由下式决定：

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

式中  $\varepsilon$  为介质的介电常数； $S$  为两极板相对重叠部分的极板面积； $d$  为两极板之间的距离。



#### 记忆方法提示

如图 7-1 所示可以形象地说明电容器容量与  $S$ 、 $d$  之间关系，以帮助记忆。

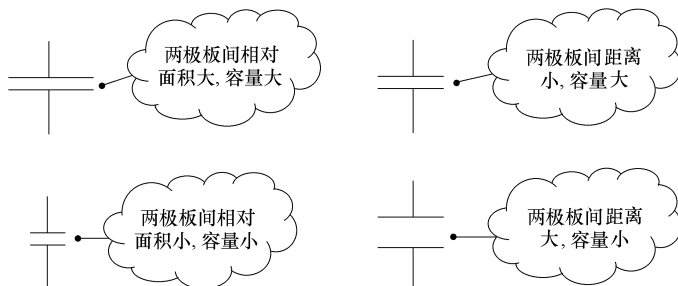


图 7-1 电容器容量与  $S$ 、 $d$  之间关系

电容器的容量单位是法拉，用 F 表示，法拉这一单位太大，平时使用微法（用  $\mu\text{F}$  表示）和微微法（用  $\text{pF}$  表示），三个单位之间的换算关系如下：

$$1\mu\text{F} = 10^6 \text{ pF}$$

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{ pF}$$

电路图中，标注电容量时常将  $\mu\text{F}$  简化成  $\mu$ ，将  $\text{pF}$  简化成  $\text{p}$ 。例如，3300p 就是 3300pF， $10\mu$  就是  $10\mu\text{F}$ ，如图 7-2 所示电路中的  $C_1$  就是这种情况。

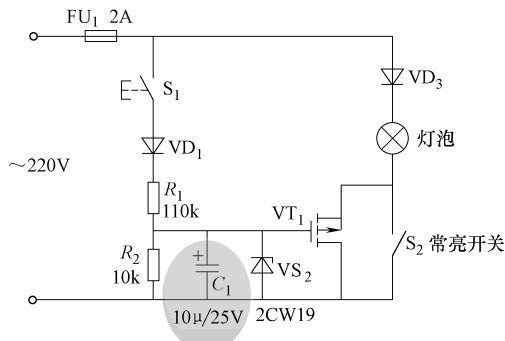


图 7-2 示意图

## 2. 标称容量

电容器同电阻器一样，也有标称电容量参数。标称电容量也分许多系列。常用的是 E6、E12 系列，这两个系列的设置同电阻器一样。

## 3. 允许偏差

电容器的允许偏差含义与电阻器相同，固定电容器允许偏差常用的是  $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$  和  $\pm 20\%$ ，通常容量越小，允许偏差越小。

## 4. 额定电压

额定电压是指在规定温度范围内，可以连续加在电容器上而不损坏电容器的最大直流电压或交流电压的有效值。

### 重要提示

额定电压是一个重要参数，在使用中如果工作电压大于电容器的额定电压，电容器是要损坏的。如果电路故障造成加在电容器上的工作电压大于它的额定电压时，电容器将会被击穿。电容器的额定电压也是成系列的。

## 5. 绝缘电阻

它又称为漏电阻。由于电容两极之间的介质不是绝对的绝缘体，所以它的电阻不是无限大，一般在  $1000\text{M}\Omega$  以上，电容两极之间的电阻叫做绝缘电阻。

### 重要提示

绝缘电阻大小等于额定工作电压下的直流电压与通过电容的漏电流的比值。漏电阻越小，漏电越严重。电容漏电会引起能量损耗，这种损耗不仅影响电容的寿命，而且会影响电路的工作。因此，漏电阻越大越好。

## 6. 温度系数

一般情况下，电容器的电容量是随温度变化而变化的，电容器的这一特性用温度系数来表示。

### 重要提示

温度系数有正、负之分，正温度系数电容器表明电容量随温度升高而增大，负温度系数电容器则是随温度升高而电容量下降。

使用中，希望电容器的温度系数越小越好。当电路工作对电容的温度有要求时，会采用温度补偿电路。

## 7. 介质损耗

电容器在电场作用下消耗的能量，通常用损耗功率和电容器的无功功率之比，即损耗角的正切



值表示。损耗角越大，电容器的损耗越大，损耗角大的电容不适于高频电路中工作。

### ★7.1.11 电感器主要参数

#### 1. 电感器的电感量

电感器的电感大小如同电容器的电容量大小一样，是电感器使用中的一个重要参数。另外，当电感器中流有较大工作电流时，对它的额定工作电流参数也备加关注。



#### 重要提示

电感器的电感大小与线圈的结构有关，线圈绕的匝数越多，电感越大。在同样匝数情况下，线圈加了磁心后，电感量增大。

电感单位为亨，用 H 表示，H 这个单位太大，常用毫亨和微亨表示。 $1\text{H} = 1000\text{mH}$ ， $1\text{mH} = 1000\mu\text{H}$ 。

标称电感量表示了电感器的电感大小，它是使用中最关心的参数，也是电感器最重要的参数之一。

标称电感量会标注在电感器上，以方便使用，如图 7-3 所示，这是 3 位数表示方法，其识别方法与电容器的 3 位数识别方法一样，单位是  $\mu\text{H}$ ，图中 331 为  $330\mu\text{H}$ 。

一般高频电感器的电感量较小，为  $0.1 \sim 100\mu\text{H}$ ，低频电感器的电感量为  $1 \sim 30\text{mH}$ 。

小型固定电感器的标称电感量采用 E12 系列，见表 7-3。



图 7-3 电感量标注示意图

表 7-3 小型固定电感器标称电感量系列

| 名称  | 系列值 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| E12 | 1   | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.2 | 2.7 | 3.3 | 3.9 | 4.7 | 5.6 | 6.8 | 8.2 |

注：上述值再乘 10 的  $n$  次方得到电感量标称值。

#### 2. 电感器允许偏差

电感器的允许偏差表示制造过程中电感量偏差大小，通常有 I、II、III 三个等级，I 级允许偏差为  $\pm 5\%$ ，II 级允许偏差为  $\pm 10\%$ ，III 级允许偏差为  $\pm 20\%$ 。在许多体积较小的电感器上不标出允许偏差这一参数。

#### 3. 品质因数

品质因数又称为  $Q$  值，用字母  $Q$  表示。 $Q$  值表示了线圈的“品质”。 $Q$  值越高，说明电感线圈的功率损耗越小，效率越高。

这一参数不标在电感器外壳上。并不是对电路中所有的电感器都有品质因数的要求，主要是对 LC 谐振电路中的电感器有品质因数要求，因为这一参数决定了 LC 谐振电路的有关特性。

#### 4. 额定电流

电感器的额定电流是指允许通过电感器的最大电流，这也是电感器的一个重要参数。当通过电感器的电流大于这一电流值时，电感器将有烧坏的危险。在电源电路中的滤波电感器因为工作电流比较大，加上电源电路的故障发生率比较高，所以滤波电感器容易烧坏。

#### 5. 固有电容

电感器固有电容又称分布电容和寄生电容，它是由各种因素造成的，相当于并联在电感线圈两端的一个总的等效电容。

### ★7.1.12 变压器主要参数

#### 1. 电压比 $n$

变压器的电压比表示了变压器一次线圈匝数与二次线圈匝数之间的关系，电压比参数表征是降压变压器还是升压变压器，还是 1:1 变压器。电压比  $n$  由下式计算：

$$n = N_1 \text{ (一次线圈匝数)} / N_2 \text{ (二次线圈匝数)} = U_1 \text{ (一次电压)} / U_2 \text{ (二次电压)}$$

**重要提示**

电压比  $n < 1$  是升压变压器，一次线圈匝数少于二次线圈匝数。在一些点火器中用这种变压器。  
电压比  $n > 1$  是降压变压器，一次线圈匝数多于二次线圈匝数。普通的电源变压器是这种变压器。  
电压比  $n = 1$  是 1:1 变压器，一次线圈匝数等于二次线圈匝数。隔离变压器是这种变压器。

**2. 频率响应**

频率响应参数是衡量变压器传输不同频率信号能力的重要参数。

在低频和高频段，由于各种原因（一次绕组的电感、漏感等）会造成变压器传输信号的能力下降（信号能量损耗），使频率响应变劣。

**3. 额定功率**

额定功率是指在规定频率和电压下，变压器长时间工作而不超过规定温升的最大输出功率，单位为 VA（伏安），一般不用 W（瓦特）表示，这是因为在额定功率中会有部分无功功率。

对于某些变压器而言，额定功率是一个重要参数，如电源变压器，因为电源变压器有功率输出的要求。而对另一些变压器而言（如中频变压器等），这一项参数不重要。

**4. 绝缘电阻**

绝缘电阻的大小不仅关系到变压器的性能和质量，在电源变压器中还与人身安全有关，所以这是一项安全性能参数。

理想的变压器在一次和二次线圈之间（自耦变压器除外），各线圈与铁心之间应完全绝缘，但是实际上做不到这一点。

绝缘电阻由试验结果获得，如下所示：

$$\text{绝缘电阻} = \frac{\text{施加电压}(V)}{\text{产生漏电流}(\mu A)} \quad (M\Omega)$$

绝缘电阻用 1kV 绝缘电阻表测量时，应在 10MΩ 以上。

**5. 效率**

变压器在工作时对电能有损耗，用效率来表示变压器对电能的损耗程度。

效率用 % 表示，它的定义如下：

$$\text{效率} = \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}} \times 100$$

变压器不可避免地存在各种形式的损耗。显然，损耗越小，变压器的效率越高，变压器的质量越好。

**6. 温升**

温升指变压器通电后，其温度上升到稳定值时，比环境温度高出的数值。此值越小，变压器工作越安全。

这一参数反映了变压器发烫的程度，一般针对有功率输出要求的变压器，如电源变压器。要求变压器的温升越小越好。

有时这项指标不用温升来表示，而是用最高工作温度来表示，其意义一样。

**7. 变压器标注方法**

变压器的参数表示方法通常用直标法，各种用途变压器标注的具体内容不相同，无统一的格式，下面举几例加以说明。

1) 某音频输出变压器二次线圈引脚处标出 8Ω，说明这一变压器的二次线圈负载阻抗应为 8Ω，即只能接阻抗为 8Ω 的负载。

2) 某电源变压器上标注出 DB-50-2。DB 表示是电源变压器；50 表示额定功率为 50VA；2 表示产品的序号。

3) 有的电源变压器在外壳上标出变压器电路符号（各线圈的结构），然后在各线圈符号上标





出电压数值,说明各线圈的输出电压。

### 8. 变压器参数运用说明

关于变压器参数运用主要说明下列几点:

1) 在更换变压器时,由于不同型号变压器绕组结构等情况不同,需要用同一个型号变压器更换。对于电路设计时的变压器选择,则需要根据不同用途,对变压器参数进行优选。

2) 对于电源变压器主要考虑二次绕组结构和交流输出电压的大小,在采用不同的整流电路(半波还是全波、桥式)时对变压器二次绕组的结构和输出电压大小都有不同要求。此外,额定功率参数也是一个非常重要的参数,如果选择的变压器额定功率小了,使用中变压器会发热而影响安全。绝缘电阻参数更是一项安全指标,绝缘不够将导致电源变压器漏电,危及人身安全。

3) 对于音频变压器主要关心频率响应参数,因为这一参数达不到要求时,整个放大系统的频率响应指标就达不到要求。

## ★7.1.13 二极管主要参数

### 1. 最大整流电流 $I_m$

最大整流电流是指二极管长时间正常工作下,允许通过二极管的最大正向电流值。各种用途的二极管对这一参数的要求不同,当二极管用来作为检波二极管时,由于工作电流很小,所以对这一参数的要求不高。



#### 重要提示

当二极管用来作为整流二极管时,由于整流时流过二极管的电流比较大,有时甚至很大,此时最大整流电流  $I_m$  是一个非常重要的参数。

当正向电流通过二极管时,PN 结要发热(二极管要发热),电流越大,管子越热,当二极管热到一定程度时就要被烧坏,所以最大整流电流  $I_m$  参数限制了二极管的正向工作电流,在使用中不能让二极管中的电流超过这一值。在一些大电流的整流电路中,为了帮助整流二极管散热,给整流二极管加上了散热片。

### 2. 最大反向工作电压 $U_{rm}$

最大反向工作电压是指二极管正常工作时所能承受的最大反向电压值,  $U_{rm}$  约等于反向击穿电压的一半。反向击穿电压是指给二极管加反向电压,使二极管击穿时的电压值。二极管在使用中,为了保证二极管的安全工作,实际的反向电压不能大于  $U_{rm}$ 。



#### 重要提示

对于晶体管而言,过电压(指工作电压大于规定电压值)比过电流(工作电流大于规定电流)更容易损坏管子,因为电压稍增大一些,往往电流就会增大许多。

### 3. 反向电流 $I_{co}$

反向电流是指给二极管加上规定的反向偏置电压情况下,通过二极管的反向电流值,  $I_{co}$  大小反映了二极管单向导电性能。

给二极管加上反向偏置电压后,没有电流流过二极管,这是二极管的理想情况,实际上二极管在加上反向电压后或多或少地会有一些反向电流,反向电流是从二极管负极流向正极的电流。



#### 重要提示

正常情况下,二极管的反向电流很小,而且是越小越好。这一参数是二极管的一个重要参数,因为当二极管的反向电流太大后,二极管失去了单向导电特性,二极管也就失去了它在电路中的功能。

在二极管反向击穿之前,总是要存在一些反向电流,对于不同材料的二极管,这一反向电流的

大小不同。对于硅二极管，它的反向电流比较小，一般为  $1\mu\text{A}$ ，甚至更小；对于锗二极管，反向电流比较大，约有几百  $\mu\text{A}$ 。所以，现在一般情况下不使用锗二极管，而广泛使用硅二极管。

在二极管反向击穿前反向电流  $I_{\infty}$  的大小基本不变，即反向电压只要不大于反向击穿电压值，反向电流几乎不变，所以反向电流又称反向饱和电流。

#### 4. 最高工作频率 $f_M$

二极管可以用于直流电路中，也可以用于交流电路中。在交流电路中，交流信号的频率高低对二极管的正常工作有影响，信号频率高时要求二极管的工作频率也要高，否则二极管就不能很好地起作用，这就对二极管提出了工作频率的要求。



#### 重要提示

由于二极管的材料、结构和制造工艺的影响，当工作频率超过一定值后，二极管将失去它良好的工作特性。二极管保持它良好工作特性的最高频率，称为二极管的最高工作频率。

在一般电路和低频电路中，如整流电路中，对二极管的  $f_M$  参数是没有要求的，主要是在高频电路中对这一参数有要求。

#### 5. 二极管参数运用说明

二极管在不同运用场合下，对各项参数的要求是不同的。

- 1) 对用于整流目的的整流二极管，重点要求它的最大整流电流和最大反向工作电压参数。
- 2) 对用于开关电路的开关二极管，重点要求它的开关速度；对于高频电路中的二极管，重点要求它的最高工作频率和结电容等参数。

### ★7.1.14 稳压二极管主要参数

#### 1. 稳定电压 $U_Z$

稳定电压  $U_Z$  就是  $U-I$  所示曲线中的反向击穿电压，它是指稳压二极管进入稳压状态时二极管两端的电压大小。



#### 重要提示

由于生产过程中的离散性，手册中给出的稳定电压不是一个确定值，而是给了一个范围，例如 1N4733A 稳压二极管，典型值 5.1V，最小值 4.85V，最大值 5.36V。

#### 2. 最大稳定电流 $I_{ZM}$

它是指稳压二极管长时间工作而不损坏所允许流过的最大稳定电流值。稳压二极管在实际运用中，工作电流要小于最大稳定电流，否则会损坏稳压二极管。

#### 3. 电压温度系数 $C_{TV}$

它是用来表征稳压二极管的稳压值受温度影响程度和性质的一个参数。此系数有正、负之分，其值越小越好。电压温度系数一般在 0.05 ~ 0.1 左右。



#### 重要提示

稳压值大于 7V，稳压二极管是正温度系数的，当温度升高稳定电压值升高，反之则下降。

稳压值小于 5V，稳压二极管是负温度系数的，当温度升高稳定电压值下降，反之则升高。

稳压值在 5 ~ 7V 之间，稳压二极管温度系数接近于零，即稳定电压值不随温度变化。

#### 4. 最大允许耗散功率 $P_M$

它是指稳压二极管击穿后稳压二极管本身所允许消耗功率的最大值。实际使用中稳压二极管如果超过这一值，稳压二极管将被烧坏。



### 5. 动态电阻 $R_z$

动态电阻  $R_z$  越小，稳压性能就越好， $R_z$  一般为几  $\Omega$  ~ 几百  $\Omega$ 。

## ★7.1.15 变容二极管主要参数

### 1. 品质因数 $Q$

品质因数  $Q = 1/2\pi f R_s C_d$ ，要求  $Q$  值必须足够的大，以保证调谐电路的  $Q$  值。

串联电阻  $R_s$  会使变容二极管产生损耗，这种损耗越大，品质因数  $Q$  越小，变容二极管的质量越差。

### 2. 截止频率 $f_t$

当频率增高时， $Q$  值要下降，当  $Q$  值下降到 1 时的频率为截止频率。

### 3. 电容变化比

变容二极管在零偏压时的结电容与在击穿电压时的结电容之比称为电容变化比。电容变化比大，调谐频率范围大。

变容二极管的容量变化范围一般为 5 ~ 300pF。

### 4. 击穿电压

变容二极管击穿电压较高，一般 15 ~ 90V。

## ★7.1.16 发光二极管主要参数

### 1. 电参数

(1) 正向工作电流  $I_f$ 。它是指发光二极管正常发光时的正向电流值。发光二极管工作电流一般为 10 ~ 20mA。

(2) 正向工作电压  $U_F$ 。它是在给定正向电流下的发光二极管两端正向工作电压。一般是在  $I_f = 20\text{mA}$  时测量，发光二极管正向工作电压在 1.4 ~ 3V。外界温度升高时，发光二极管正向工作电压会下降。

(3) 伏—安特性。它是指发光二极管电压与电流之间的关系。

### 2. 极限参数

(1) 允许功耗  $P_m$ 。它是允许加于发光二极管两端正向直流电压与流过它的电流之积的最大值，超过此值发光二极管发热、损坏。

(2) 最大正向直流电流  $I_{fm}$ 。它是允许加的最大正向直流电流，超过此值可损坏二极管。

(3) 最大反向电压  $U_{Rm}$ 。它是所允许加的最大反向电压，超过此值发光二极管可能被击穿损坏。

(4) 工作环境  $t_{opm}$ 。它是发光二极管可正常工作环境温度范围。低于或高于此温度范围，发光二极管将不能正常工作，效率大大降低。

## ★7.1.17 晶体管主要参数

晶体管的具体参数很多，可以分成三大类：直流参数、交流参数和极限参数。

### 1. 直流参数

(1) 共发射极直流放大倍数。它是指在共发射极电路中，没有交流电流输入时，集电极电流  $I_c$  与基极电流  $I_b$  之比。

(2) 集电极反向截止电流  $I_{CBO}$ 。发射极开路时，集电结上加有规定的反向偏置电压，此时的集电极电流称为集电极反向截止电流。

(3) 集电极—发射极反向截止电流  $I_{CEO}$ 。它又称为穿透电流，它是基极开路时，流过集电极与发射极之间的电流。

### 2. 交流参数

(1) 共发射极电流放大倍数  $\beta$ 。它是指晶体管接成共发射极放大器时的交流电流放大倍数。



- 2) 共基极电流放大倍数。它是指晶体管接成共基极放大器时的交流电流放大倍数。
- 3) 特征频率。晶体管工作频率高到一定程度时, 电流放大倍数 $\beta$ 要下降,  $\beta$ 下降到1时的频率为特征频率。

3. 极限参数

- 1) 集电极最大允许电流。集电极电流增大时晶体管电流放大倍数 $\beta$ 下降, 当 $\beta$ 下降到低中频段电流放大倍数1/2 或1/3 时所对应的集电极电流称为集电极最大允许电流。
- 2) 集电极—发射极击穿电压。它是指晶体管基极开路时, 加在晶体管集电极与发射极之间的允许电压。
- 3) 集电极最大允许耗散功率。它是指晶体管因受热而引起的参数变化不超过规定允许值时, 集电极所消耗的最大功率。大功率晶体管中设置散热片, 这样晶体管的功率可以提高许多。

★7.1.18 集成电路主要参数

这里以集成电路 SC1308 为例说明集成电路主要参数。不同类型集成电路的参数还有区别, SC1308 是一个双声道音频功率放大集成电路。

1. 极限参数

表 7-4 是集成电路 SC1308L 极限参数。

表 7-4 集成电路 SC1308L 极限参数

| 参 数  | 符 号       | 参 数 范 围    | 单 位 |
|------|-----------|------------|-----|
| 工作电压 | $V_{DD}$  | 8          | V   |
| 储存温度 | $T_{STG}$ | -65 ~ +150 | ℃   |
| 工作温度 | $T_{OPR}$ | -40 ~ +80  | ℃   |

通常要注意的是工作电压, SC1308L 最大不能超过 8V, 否则集成电路将有损坏危险。

2. 电气参数

表 7-5 是集成电路 SC1308L 电气参数

表 7-5 集成电路 SC1308L 电气参数

| 参数      | 符号            | 测 试 条 件                                   | 最小值             | 典型值   | 最大值  | 单位 |
|---------|---------------|-------------------------------------------|-----------------|-------|------|----|
| 单电源供电   | $V_{DD}$      |                                           | 2               | 3     | 4    | V  |
| 双电源供电   |               |                                           | +1.0            | +1.5  | +2.0 |    |
| 单电源供电   | $V_{SS}$      |                                           | 0               | 0     | 0    | V  |
| 双电源供电   |               |                                           | -1.0            | -1.5  | -2.0 |    |
| 工作电流    | $I_{DD}$      | 无负载 $V_{DD} = 3V$                         | —               | 2     | —    | mA |
| 功耗      | $P_D$         | 无负载 $V_{DD} = 3V$                         |                 | 15    |      | mW |
| 最大功率输出  | $P_O$         | $THD = 0.15\%$                            | $V_{DD} = 1.8V$ | —     | 4    | mW |
|         |               |                                           | $V_{DD} = 3V$   | —     | 15   |    |
|         |               | $THD = 3\%$                               | $V_{DD} = 1.8V$ | —     | 5    |    |
|         |               |                                           | $V_{DD} = 3V$   | —     | 20   |    |
| 总谐波失真   | $THD$         | $V_{O(p-p)} = 2V$                         |                 | 0.03  | 0.06 | %  |
|         |               | $V_{O(p-p)} = 2V, R_L = 5k\Omega$         |                 | 0.001 |      |    |
| 信噪比     | $S/N$         |                                           | 100             | 110   |      | dB |
| 通道分离度   | $\alpha_{CS}$ |                                           |                 | 70    |      | dB |
|         |               | $R_L = 5k\Omega$                          |                 | 105   |      |    |
| 电源纹波抑制比 | $PSRR$        | $F = 100Hz,$<br>$V_{ripple(p-p)} = 100mV$ |                 | 90    |      | dB |

注：电气参数（除非特别指定,  $T_{amp} = 25^\circ C$ ）。

电气参数值分成最小值、典型值和最大值三项, 它是指数值不小于最小值, 不大于最大值, 通常为典型值。



表 7-6 是电气参数含义说明。

表 7-6 电气参数含义说明

| 名称      | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 单电源供电   | 单电源供电时,最大不要超过 4V,最小不要低于 2V,否则集成电路工作将受到影响,最好是在 3V 下工作<br>最大电压 4V 与极限电压 8V 之间的关系是,大于 4V 而小于 8V 时集成电路工作可能受到影响,而大于 8V 时集成电路将有损坏危险                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 双电源供电   | 双电源供电时必须为正负对称电源,即正电源电压绝对值等于负电源电压绝对值,正负电源电压的绝对值最大各为 2V,其之和最大也是 4V                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 工作电流    | 它是指不加负载时的工作电流,它表明了集成电路对电源的消耗情况,其值越小越好。有的集成电路参数中用静态电流来表述                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 功耗      | 它表明了对电源的消耗情况,其值越小越好                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 最大输出功率  | 它是指在规定的失真度和工作电压下,能够输出的信号最大功率,其值越大越好,说明集成电路对信号功率的放大能力强<br>失真越大、直流工作电压越大,输出功率越大,所以如果不规定失真度和工作电压大小,最大输出功率参数意义不大                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 总谐波失真   | 放大器放大信号时不可避免地对所放大信号存在谐波失真,即放大器输出的所放大信号与输入放大器的信号存在不一样,输出信号中多出了输入信号中所没有的成分,这称为放大器的谐波失真,各种多出成分的总和称为总谐波失真<br>谐波失真是放大器所不希望出现的,总谐波失真越小越好。在不同工作电压下,总谐波失真的大小是不同的,所以参数中要规定在指定电压下进行测量                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 通道分离度   | 对双声道电路而言,左右两个声道电路是隔离的,理想情况下要求它们之间相互不影响,即用通道隔离度来表征,其值越大越好,说明相互之间的影响越小                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 电源纹波抑制比 | 对于集成稳压电路,它是指在规定的纹波频率(例如 100Hz)下,输入电压中的纹波电压 $U_{i-}$ 与输出电压中的纹波电压 $U_{o-}$ 之比,即:<br>$\text{纹波电压抑制比} = U_{i-} / U_{o-}$<br>电源纹波抑制比越大越好<br>纹波不同于噪声。纹波是出现在输出端的一种与输入电压的纹波频率相同的交流成分,用峰—峰 (peak to peak) 值表示,其值一般是小于输出电压的 0.5%<br>纹波电压除纹波抑制比指标之外,还有最大纹波电压和纹波系数<br>1) 最大纹波电压。这是指在额定输出电压和负载电流下,输出电压的纹波(包括噪声)的绝对值的大小,通常以峰—峰值或有效值表示<br>2) 纹波系数 $y(\%)$ 。它是指在额定负载电流下,输出纹波电压的有效值 $U_{rms}$ 与输出直流电压 $U_o$ 之比,即:<br>$y = U_{rms} / U_o \times 100\%$ |

### ★7.1.19 低压差稳压器集成电路主要参数

#### 1. 输入输出电压差 (Dropout Voltage)

输入输出电压差是低压差线性稳压器最重要参数。在保证输出电压稳定的条件下,该电压的压差越低,线性稳压器的性能就越好。比如,5.0V 的低压差线性稳压器,只要输入 5.5V 电压,就能使输出电压稳定在 5.0V。

#### 2. 输出电压 (Output Voltage)

输出电压是低压差线性稳压器最重要参数,也是电子设备设计者选用稳压器时首先应考虑的参数。低压差线性稳压器有固定输出电压和可调节输出电压两种类型。

固定输出电压稳压器使用比较方便,而且由于输出电压是经过生产厂家精密调整的,所以稳压器精度很高。但是其设定的输出电压数值均为常用电压值,不可能满足所有的应用要求。





注意，外接元件参数的精度和稳定性将影响稳压器的稳定精度。

3. 最大输出电流（Maximum Output Current）

用电设备的功率不同，要求稳压器输出的最大电流也不相同。通常，输出电流越大的稳压器成本越高。为了降低成本，在多只稳压器组成的供电系统中，应根据各部分所需的电流值选择适当的稳压器。

4. 接地电流（Ground Pin Current）

接地电流  $I_{\text{GND}}$  有时也称为静态电流，它是指串联调整管输出电流为零时，输入电源提供的稳压器工作电流。通常较理想的低压差稳压器的接地电流很小。

5. 负载调整率（Load Regulation）

LDO 的负载调整率越小，说明 LDO 抑制负载干扰的能力越强。

6. 线性调整率（Line Regulation）

LDO 的线性调整率越小，输入电压变化对输出电压影响越小，LDO 的性能越好。

7. 电源纹波抑制比（PSRR）

LDO 的输入源往往许存在多干扰信号。PSRR 反映了 LDO 对于这些干扰信号的抑制能力。



重要提示

低压差稳压器最重要的指标是四个：输入输出电压差（Dropout Voltage）、电源纹波抑制比（PSRR）、接地电流（Ground Pin Current）、噪声（Noise）。

★7.1.20 晶闸管主要参数

如表 7-7 所示是晶闸管主要参数。

表 7-7 晶闸管主要参数

| 参数                        | 说 明                                                                                                            |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 额定正向平均电流 $I_F$            | 它简称正向电流。它是指在规定的环境温度和散热标准下,晶闸管可连续通过的工频正弦半波电流(一个周期)的平均值。在使用中,说某只晶闸管是几毫安的,就是指正向电流有多大                              |
| 维持电流 $I_H$                | 它是指在规定环境温度下和控制极 G 断开时,维持晶闸管继续导通的最小电流。当流过晶闸管的电流小于此值时,晶闸管将自动处于截止(断开)状态                                           |
| 浪涌电流定额                    | 晶闸管流过很大的故障电流时,由于 PN 结的温度会升高而导致晶闸管损坏。一定时间内保证晶闸管不致损坏所允许流过晶闸管的故障电流倍数,称之为浪涌电流定额                                    |
| 正向阻断峰值电压 $U_{\text{FDM}}$ | 它是指在晶闸管两端加上正向电压,即 A、K 极之间为正向电压,而未导通时的状态。正向阻断峰值电压是指在控制极 G 断开和正向阻断下,可以重复加在晶闸管 A、K 极之间的正向峰值电压。一般这一电压比正向转折电压小 100V |
| 反向阻断峰值电压 $U_{\text{DRM}}$ | 它是指在控制极 G 断开时,可以重复加在晶闸管 A、K 极之间的反向峰值电压。一般这一电压比反向击穿电压小 100V                                                     |
| 通态平均电压 $U_F$              | 它是指晶闸管导通后,通过正弦半波额定电流时,晶闸管 A、K 极之间在一个周期内的平均电压值,为管压降,一般为 0.6 ~ 1.2V。它的大小反映了晶闸管的管耗大小,此值越小越好                       |
| 正向转折电压 $U_{\text{BO}}$    | 它的电压的定义见正向特性曲线                                                                                                 |
| 控制极触发电压 $U_G$             | 它是指在晶闸管 A、K 极之间加上一定的正向电压下,使晶闸管从截止转为导通所需要的在 G、K 极之间加的最小正向电压值,一般为 1.6 ~ 5V                                       |
| 控制极触发电流 $I_G$             | 它是指在晶闸管 A、K 极之间加上一定的正向电压下,使晶闸管从截止转为导通所需要的最小控制极电流。一般为几十到几百 mA                                                   |
| 擎住电流 $I_{\text{La}}$      | 它是指晶闸管从断态到通态的临界电流,它为 2 ~ 4 倍的 $I_H$                                                                            |

★7.1.21 场效应晶体管主要参数

场效应晶体管的参数分成直流参数、交流参数和极限参数 3 大类。表 7-8 给出了场效应晶体管



## 3 大类参数说明。

表 7-8 场效应晶体管 3 大类参数说明

| 参数类型             | 参 数 名 称          | 说 明                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 直流参数             | 夹断电压 $U_p$       | 它是指在 $U_{DS}$ 为一定值,使 $I_D$ 等于一个很小电流 ( $1\mu A$ 、 $10\mu A$ ) 时,栅极与源极之间所加的偏置电压 $U_{GS}$ 。这一参数适用于结型和耗尽型场效应晶体管                                                                                                                           |
|                  | 开启电压 $U_i$       | 它是当 $U_{DS}$ 为某一规定值时,使导电沟道可以将 D 极、S 极连起来时的最小 $U_{GS}$ 值。这一参数适用于增强型绝缘栅场效应晶体管                                                                                                                                                           |
|                  | 饱和漏电流 $I_{DSS}$  | 它指在 $U_{GS} = 0V$ , D 极、S 极之间所加电压大于夹断电压时的沟道电流。这一参数适用于耗尽型场效应晶体管                                                                                                                                                                        |
|                  | 直流输入电阻 $R_{GS}$  | 它是指 G 极、S 极之间所加直流电压与 G 极电流之比。 $R_{GS}$ 很大,在 $10^8 \sim 10^{15} \Omega$ 之间                                                                                                                                                             |
|                  | 漏源击穿电压 $U_{DS}$  | 它是指在增加 D 极、S 极之间电压过程中,使 $I_D$ 开始急剧增大的 $U_{DS}$                                                                                                                                                                                        |
|                  | 栅源击穿电压 $U_{GS}$  | 对于结型场效应晶体管而言,栅源击穿电压 $U_{GS}$ 是指反向饱和电流急剧增大时的 $U_{GS}$ ;对于绝缘栅场效应晶体管而言, $U_{GS}$ 是使二氧化硅绝缘层击穿的电压                                                                                                                                          |
| 交流参数<br>(或称微变参数) | 低频跨导 $G_m$       | 它是指在 $U_{DS}$ 为规定值时,漏极电流变化量 $\Delta I_D$ 与引起 $\Delta I_D$ 的栅—源电压变化量 $\Delta U_{GS}$ 之比,公式为 $G_m = \Delta I_D / \Delta U_{GS}$ 。 $G_m$ 是场效应晶体管的一个重要参数,它的大小表征场效应晶体管对电压信号的放大能力,与晶体管的交流电流放大倍数相似。 $G_m$ 与管子的工作区域有关。 $I_D$ 越大,管子的 $G_m$ 也越大 |
|                  | 输出电阻 $r_d$       | 它是指在 $U_{GS}$ 为一定值时,D 极与 S 极之间电压变化量 $\Delta U_{DS}$ 与相对应的漏极电流变化量 $\Delta I_D$ 之比,公式为: $r_d = \Delta U_{DS} / \Delta I_D$ 。场效应晶体管的 $r_d$ 比晶体管的输出电阻大得多,一般为几十至几百欧姆之间。这是因为在放大区, $U_{DS}$ 变化时 $I_D$ 几乎不变                                   |
|                  | 低频噪声系数 NF        | 它是用来表征管子工作时低频范围内噪声大小的参数,单位为 dB。场效应晶体管的 NF 比晶体管小得多,一般为几个分贝                                                                                                                                                                             |
|                  | 极间电容             | 在 D 极、S 极、G 极 3 个电极之间,同晶体管一样存在极间电容。它们是栅源极间电容 $C_{GS}$ , $C_{GS}$ 约为 $1 \sim 3pF$ 。栅漏极之间电容 $C_{GD}$ , $C_{GD}$ 约为 $1pF$ 。漏源极间电容 $C_{DS}$ , $C_{DS}$ 约为 $0.1 \sim 1pF$ 。它们由势垒电容和分布电容组成                                                  |
| 极限参数             | 最大耗散功率 $P_{DSM}$ | 它是指场效应晶体管性能不变坏时所允许的最大漏源耗散功率。使用时,场效应晶体管实际功耗应小于 $P_{DSM}$ 并留有一定余量                                                                                                                                                                       |
|                  | 最大漏源电流 $I_{DSM}$ | 它是指场效应晶体管正常工作时,漏源间所允许通过的最大电流。场效应晶体管的工作电流不应超过 $I_{DSM}$                                                                                                                                                                                |

## ★7.1.22 电子管主要参数

## 1. 跨导的物理意义

屏极电压固定不变,栅极电压变化 1V 时,屏极电流变化了多少毫安。显然,跨导表明了栅极电压对屏极电流的控制能力,跨导越大,说明晶体管栅极电压对屏极电流的控制能力越强,可以理解成类似晶体管中的电流放大倍数。

## 2. 内阻的物理意义

栅极电压固定不变,屏极电流变化了 1mA,屏极电压需要变化多少伏。显然,内阻表明了屏极电压对屏极电流的控制能力,内阻越小,说明晶体管屏极电压对屏极电流的控制能力越强。

## 3. 放大系数

放大系数是表示栅压对屏流的影响比屏压对屏流的影响大多少倍。例如,某晶体管的放大系数是 30,意思就是栅压对屏流控制能力是屏压对屏流的控制能力的 30 倍。

## ★7.1.23 小型直流电磁继电器主要参数

表 7-9 所示是小型直流电磁继电器主要参数。



表 7-9 小型直流电磁继电器主要参数

| 名称            | 说 明                                                                       |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 线圈直流电阻        | 它是指线圈的电阻值                                                                 |
| 额定工作电压或额定工作电流 | 是指继电器正常工作时,线圈的电压或电流值                                                      |
| 吸合电压或电流       | 它是指继电器产生吸合时的最小电压或电流。如果只给继电器的线圈上加上吸合电压,这时的吸合是不牢靠的。一般吸合电压为额定工作电压的 75% 左右    |
| 放电压或电流        | 它是指继电器两端的电压减小到一定数值时,继电器从吸合状态转到释放状态时的电压值。释放电压要比吸合电压小得多,一般释放电压是吸合电压的 1/4 左右 |
| 触点负载          | 它是指继电器的触点在切换时能承受的电压和电流值                                                   |

★7.1.24 磁头主要参数

1. 录放磁头主要性能参数

- (1) 阻抗。它是指录放磁头工作在 1kHz 下的阻抗,一般有低阻抗、中阻抗和高阻抗三种磁头,在更换录放磁头时这是一个主要依据。
- (2) 频率响应。它是表征录放磁头对信号进行电—磁、磁—电能力的重要指标,主要是指磁头的幅频特性,这一特性与磁头的工作缝隙宽度相关,工作缝隙越狭,频率响应特性越好。
- (3) 偏磁电流。这是对录音磁头工作在录音状态下的一项参数要求,每一个具有录音功能的磁头都有一个特定值,称为最佳录音偏磁电流,磁头只有工作在这一偏磁电流下才能获得最佳的录音效果,否则将出现录音轻、录音失真等问题。
- (4) 使用寿命。由于磁头与磁带之间是机械接触,这就存在磨损的问题,磁头的抗磨损能力越强,磁头的使用寿命就越长。磁头的使用寿命与磁头的铁心材料相关,一般坡莫合金磁头的使用寿命为 500 ~ 1000h,铁氧化磁头的使用寿命为 2000 ~ 3000h,更高级的铁硅铝磁头使用寿命为 4000h。



重要提示

录放磁头和放音磁头都存在磨损问题,磁头在使用一段时间后要更换处理。  
抹音磁头由于铁心材料的原因,其抗磨损能力很强,基本上不存在磨损的问题,所以修理中也不存在更换抹音磁头的问题。

2. 抹音磁头主要性能参数

- 1) 抹音方式。抹音存在多种方式,电磁式抹音有直流抹音和交流抹音,交流抹音中要规定交流抹音电流频率和大小,当抹音电流的频率和大小最佳时才能获得最好的抹音效果。
- 2) 抹音效果。它是表征抹音磁头抹音能力的一项重要指标,单位为 dB,一般要求达到 50 ~ 70dB。
- 3) 交流阻抗。这是交流抹音磁头的一项参数,表示抹音磁头在特定工作频率下的阻抗,一般为几百欧,但交流抹音磁头的直流电阻一般只有几欧。

★7.1.25 直流有刷电动机主要参数

1. 使用寿命

在机器上的使用寿命大于 600h,连续动转寿命为 1000h。

2. 额定转矩

额定转矩越大越好。

3. 额定转速偏差

额定转速偏差要求小于等于 1%,稳速精度要求小于等于 2%。



#### 4. 转速

转速有多种规格,一般为 2000r/min、2200r/min 和 2400r/min,在双速电机中为 1400r/min、2800r/min 和 2400r/min、2800r/min 等多种。

#### 5. 额定工作电流

额定工作电流一般为 100mA,这一参数对判断电机工作是否正常有重要作用。

### ★7.1.26 石英晶体振荡器主要参数 (见表 7-10)

表 7-10 石英晶体振荡器主要参数

| 名称     | 说 明                                                                                                                                                               |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 标称频率   | 指晶振上标注的频率                                                                                                                                                         |
| 激励电平   | 石英晶振工作时消耗的有效功率,也可用流过石英晶振的电流表示。使用时,激励电平可以适当调整<br>激励强,容易起振,但是频率老化大,激励太强甚至石英晶片破碎。激励低,频率老化可以改善,但是激励太弱时不起振                                                             |
| 负载电容   | 从石英晶振引脚两端向振荡电路方向看进去的全部有效电容为该振荡电路加给石英晶振的负载电容<br>负载电容与石英晶振一起决定它的工作频率。通过调整负载电容一般可以将振荡电路的工作频率调整到标称值。负载电容太大时,分布电容影响减小,但是微调率下降。负载电容太小时,微调率增加,但是分布电容影响增加、负载谐振电阻增加,甚至起振困难 |
| 基准温度   | 测量石英晶振参数时指定的环境温度。恒温晶振一般为工作温度范围的中心值,非恒温石英晶振为 $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$                                                                                            |
| 调整频差   | 在规定条件下,基准温度时的工作频率相对于标称频率的最大偏离值                                                                                                                                    |
| 温度频差   | 在规定条件下,某温度范围内的工作频率相对于基准温度时的工作频率的最大偏离值                                                                                                                             |
| 总频差    | 在规定条件下,工作温度范围内的工作频率相对于标称频率的最大偏离值                                                                                                                                  |
| 谐振电阻   | 在谐振频率时的电阻                                                                                                                                                         |
| 负载谐振电阻 | 在规定条件下石英晶振和负载电容串联后在谐振频率时的电阻                                                                                                                                       |
| 泛音频率   | 它是石英晶振振动的机械谐波,近似为基频的奇数倍。某次泛音频率必须工作在相应的电路上面才能获得                                                                                                                    |

### ★7.1.27 陶瓷滤波器主要参数

表 7-11 是陶瓷滤波器主要参数说明。

表 7-11 陶瓷滤波器主要参数

| 参数              | 说 明                                                                                   |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 最大输出频率 $f_M$    | 它是指通带中衰减最小点的频率,换句话说讲就是 $f_M$ 频率的信号通过陶瓷滤波器后受到的衰减最小,而其他各频率信号所受到的衰减均比对 $f_M$ 的衰减大,单位为 Hz |
| 中心频率 $f_0$      | 它等于通带上、下限频率(规定为相对衰减 $-3\text{dB}$ 、 $-6\text{dB}$ )的几何平均值,单位为 Hz                      |
| 通带宽度 $\Delta f$ | 它等于上、下限频率之间的频率范围,单位为 Hz                                                               |
| 通带插入损耗          | 它是指陶瓷滤波器接入放大器电路后所带来的信号额外损耗量,单位为 dB                                                    |
| 通带波动            | 它为通带内最大衰减与最小衰减之差,单位为 dB                                                               |
| 输入阻抗            | 它是从输入端向陶瓷滤波器内部看所具有的阻抗,要求与信号源的输出阻抗相匹配,单位为 $\text{k}\Omega$                             |
| 输出阻抗            | 它是从输出端向陶瓷滤波器内部看所具有的阻抗,要求与下级放大器的输入阻抗相匹配,单位为 $\text{k}\Omega$                           |

### ★7.1.28 扬声器主要参数

#### 1. 标称阻抗

扬声器的阻抗由电阻及机械振动系统、声辐射系统综合而成,扬声器在不同频率处的阻抗不同。扬声器铭牌上阻抗是以 400Hz 正弦波作为测试信号时的阻抗。

#### 2. 额定功率

它又称标称功率,它是指扬声器在最大允许失真条件下,所允许输入扬声器的最大电功率。标



称功率的单位是 VA（伏安）或 W（瓦）。

3. 频率特性

它用来表征扬声器转换各种频率电信号能力的指标，它反映了输入扬声器电信号电压不变条件下，改变输入信号频率所引起扬声器声压大小变化。低音扬声器频率范围一般为 30Hz ~ 3kHz，中音扬声器为 500Hz ~ 5kHz，高音扬声器为 2 ~ 15kHz。

4. 失真度

它主要指谐波失真，一般扬声器失真度小于等于 7%，高保真扬声器小于等于 1%。

5. 指向特性

它用来表征扬声器在空间各个方向辐射的声压分布特性，频率越高时指向性越狭，纸盆越大指向性越强。

7.2 数十种元器件主要特性

本节阅读建议：精细阅读，全面掌握诸多元器件主要特性，在电路识图学会使用这些特性进行电路工作原理的分析。

本节难度系数：5 级。

本节记忆系数：9 级。



重要提示

掌握各类元器件的主要特性是学好电子电路的基础，更是学好技术识图的基础。

★7.2.1 普通电阻器主要特性

1. 电阻器基本特性

电阻器基本特性是耗能，当电流流过电阻器时，电阻器消耗电能而发热。当然，电阻器在正常工作时所发出的热是有限的。

2. 直流和交流电路的电阻特性相同

在直流或交流电路中电阻器对电流所起的阻碍作用一样，即电阻器对交流电流和直流电流的阻碍作用“一视同仁”。所以，电阻器对直流电和交流电的作用一样，这大大方便了电阻电路的分析。电路分析时，只需要分析电阻大小对电流、电压大小的影响，如图 7-4 所示。

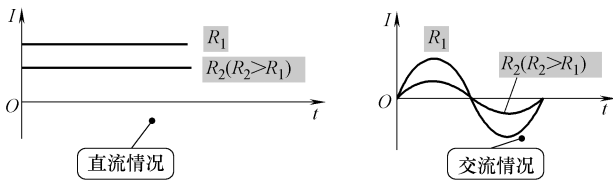


图 7-4 示意图



重要提示

当电路中电阻  $R_1$  的阻值不同时，流过  $R_1$  的直流或交流电流不同，当  $R_1$  阻值增大时，流过  $R_1$  的直流电流或交流电流都要减小。

3. 不同频率下电阻特性相同

在交流电路中，同一个电阻器对不同频率信号所呈现的阻值相同，不会因为交流电的频率不同





而出现电阻值的变化,这是电阻器的一个重要特性。



#### 电路分析方法提示

分析交流电路中电阻器工作原理时,可不必考虑交流电频率高低对电路工作的影响。

#### 4. 不同类型信号电阻特性相同

电阻器不仅在正弦波交流电的电路中阻值不变,对于脉冲信号、三角波信号处理和放大电路中所呈现的电阻也一样。



#### 电路分析方法提示

电阻的这种阻值不变特性非常有利于电路分析,即分析电阻电路时不必考虑信号的特性。

### ★7.2.2 压敏电阻器主要特性

1) 压敏电阻器导通后不能持续很长的时间。

2) 压敏电阻器的平均持续功率小,在彩色电视机中所用的压敏电阻器其平均持续功率为1W。但它的瞬时功率可达到数kW,在8~20μs的冲击电压脉冲作用下可瞬间通过50~2500A的电流。

3) 压敏电阻器具有残压低、响应时间快、体积小等优点。



#### 应用提示

根据压敏电阻器的主要特性,它可应用于各种交直流电路中作稳压、过电压保护、抑制浪涌电流、吸收尖峰脉冲、限幅、高压灭弧、消火花电路、吸收回路、防雷、调幅、变频、非线性补偿、函数变换、自动控制、消噪电路、保护半导体元器件等。

压敏电阻器在彩色电视机中的应用主要有以下一些方面:

1) 在电源电路中作为过电压保护元件,以防止雷击等异常过电压对电路的危害。

2) 在行输出变压器中作为过电压保护元件,以防止打火产生的过电压击穿行输出管等元器件。

3) 在显像管电路中作为过电压保护元件,以防止显像管内部打火或其他原因产生的过电压对元器件的损害。

### ★7.2.3 电容器主要特性



#### 重要提示

电容器的特性比电阻器复杂得多,所以电容电路也比电阻电路丰富和复杂。

掌握电容器的特性是分析有电容参与的电路工作原理的关键所在,很多情况下对电容电路工作原理分析不正确或根本无从下手,其主要原因是对电容器主要特性不了解。

掌握电容器的主要特性及其相应变化,是分析含有电容器的电路工作原理的基础。

#### 1. 电容隔直通交特性

隔直通交特性就是电容器的隔直特性与通交特性的叠加。

电容在直流电路中,由于直流电压方向不变,对电容的充电方向始终不变,待电容器充满电荷之后,电路中便无电流的流动,所以电容具有隔直作用。

电容器的隔直和通交作用往往联系起来,即电容器具有隔直通交作用,如图7-5所示是电容器隔直通交特性示意图。

输入信号 $U_i$ 是一个由直流电压 $U_1$ (图中虚线)和交流电压 $U_2$ (图中实线)复合而成的信号,

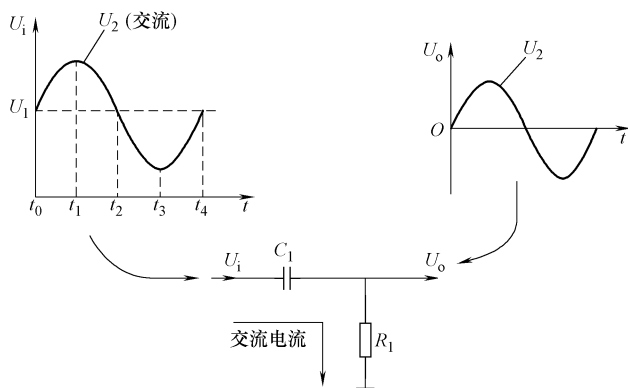


图 7-5 电容器隔直通交特性示意图

$U_1$  和  $U_2$  相加得到输入信号  $U_i$  波形。电路分析过程中，借助于信号波形能够方便地理解电路的工作原理。

直流电压  $U_1$  和交流电压  $U_2$  相加的理解过程如下：

- 1)  $t_0$  时刻。 $U_i$  等于  $U_1$ ， $U_2$  为 0， $U_1 + U_2 = U_1$ ，见  $U_i$  波形为  $U_1$ 。
- 2)  $t_1$  时刻。 $U_1$  仍为  $U_1$ ， $U_2$  为正峰值， $U_i$  波形为  $U_1$  加上  $U_2$ （正峰值），此时  $U_i$  为最大值。
- 3)  $t_2$  时刻。因为  $U_2$  为 0，所以  $U_i$  为  $U_1$  大小。
- 4)  $t_3$  时刻。 $U_2$  为负峰值，所以此时  $U_i$  为  $U_1$  减去负峰值， $U_i$  为最小。
- 5)  $t_4$  时刻。两信号电压相加情况与  $t_0$  时刻相同。

#### 重要提示

通过波形分解可知， $U_i$  所示的信号波形由一个直流电压  $U_1$  和一个交流电压  $U_2$  复合而成，这给下一步的电路分析提供很大的帮助。输入信号  $U_i$  加到电路中，分析分成直流和交流两种情况：

- 1) 直流电压  $U_1$  加到电路中的分析。由于电容  $C_1$  的隔直作用，直流电压不能通过  $C_1$ ，所以在输出端没有直流电压，这是电容器的隔直特性在电路中的具体体现。
- 2) 交流电压  $U_2$  加到电路中的分析。由于电容  $C_1$  具有通交的作用， $U_i$  信号中的交流电压能够通过电容  $C_1$  和电阻  $R_1$  构成回路，在回路中产生交流电流，如图中所示，流过电阻  $R_1$  的交流信号电流在  $R_1$  两端的交流电压即为输出电压  $U_o$ 。所以，输出信号  $U_o$  中只有输入信号  $U_i$  中的交流信号成分  $U_2$ ，如图中输出信号电压波形  $U_o$  所示，没有直流成分  $U_1$ ，这样实现隔直通交的电路功能。

## 2. 电容器储能特性

理论上讲电容器不消耗电能，电容器中所充的电荷会储存在电容器中，只要外电路中不存在让电容器放电的条件（放电电路），电荷就一直储存在电容器中，电容器的这一特性称为储能特性。

#### 重要提示

实际上电容器存在着各种能量损耗，它损耗电能，当然比起电阻器来它对电能的损耗要小得多。在电容电路的分析中，通常情况下可以不考虑电容器的耗能，因为考虑耗能后电路分析很复杂。

## 3. 电容器容抗特性

#### 重要提示

电容器容抗特性非常重要，必须深入理解，灵活运用。

电容器能够让交流电流通过，但是在不同频率的交流电、电容器容量大小不同的情况下，电容



器对交流电的阻碍作用——容抗不同。

电容器的容抗用  $X_c$  表示，容抗大小  $X_c$  由下列公式计算，通过这一计算公式可以更为全面地理解容抗与频率、容量之间的关系：

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

式中， $2\pi$  为常数； $f$  为交流信号的频率，单位 Hz（赫兹）； $C$  为电容器的容量，单位 F（法拉）。

电容让交流电通过时对交流电流存在着阻碍作用，就同电阻阻碍电流一样，所以在大多数的电路分析中，可以将容抗在电路中的作用当作一个“特殊”电阻作用一样来等效理解。



#### 理解方法提示

电容器容抗等效理解方法是：可以将电容等效成一个“电阻”（当然是一个受频率高低、容量大小影响的特殊电阻），如图 7-6 所示，这时可以用分析电阻电路的一套方法来理解电容电路的工作原理，这是电路分析中常用的等效理解方法。等效理解目的是为了更方便电路分析和工作原理的理解。

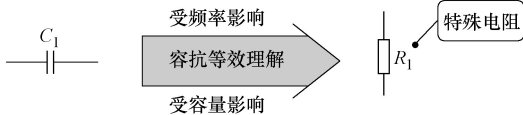


图 7-6 等效电路示意图

#### 4. 容抗、频率、容量三者之间关系小结

表 7-12 是容抗、频率、容量三者之间关系小结。

表 7-12 容抗、频率、容量三者之间关系小结

| 频率与容量  |           | 容抗大小解说        |
|--------|-----------|---------------|
| 频率 $f$ | 频率高(容量一定) | 容抗小。频率越高,容抗越小 |
|        | 频率低(容量一定) | 容抗大。频率越低,容抗越大 |
| 容量 $C$ | 容量大(频率一定) | 容抗小。容量越大,容抗越小 |
|        | 容量小(频率一定) | 容抗大。容量越小,容抗越大 |

#### 5. 电容两端电压不能突变特性



#### 重要提示

许多电容电路分析中需要用到电容两端电压不能突变的特性，这是分析电容器电路工作原理时的一个重要特性，也是一个难点。

电容两端电压不能突变的特性理解非常困难，在电容电路的分析中这一特性的运用也很困难。从电容两端电压的计算公式中可以相对方便地理解这一特性，因为电容两端电压大小与电容器内部电荷量成正比关系，在电容器内部没有电荷时电容两端电压为 0V，当电容器内部电荷没有发生改变时电容器两端电压不变（保持原来的电压大小）。

如图 7-7 所示是电容器两端电压不能突变特性示意图。 $E_1$  是直流电源， $S_1$  是开关， $R_1$  是电阻， $C_1$  是电容，这是一个直流电源对电容  $C_1$  充电的电路。

开关  $S_1$  未合上时，电容器  $C_1$  中无电荷，由电容两端电压计算公式可知，因为  $Q = 0$ ，所以  $U = 0V$ ， $C_1$  两端的电压为 0。

开关  $S_1$  接通瞬间，对  $C_1$  的充电要有一个过程，所以  $S_1$  合上瞬间  $C_1$  中仍然无电荷， $C_1$  两端的电压仍为 0V。由于在开关  $S_1$  合上前后瞬间电容中的电荷没有发生突然改变，所以电容器两端的电压也不能发生突变， $C_1$  两端电压仍然为 0V。

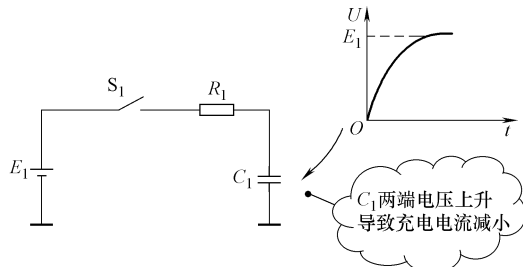


图 7-7 电容器两端电压不能突变特性示意图

### 重要提示

如果  $C_1$  原先电容器内部有电荷, 说明  $C_1$  原先有电压, 在接通电源瞬间  $C_1$  两极板上的电压等于原先的电压, 即电容两端的电压大小没有改变, 这也是电容两端的电压不能突变。

上面讲的是对电容器充电情况, 当电容器开始放电的瞬间, 电容器两端的电压也不能发生突变, 原理一样, 因为只有电容器内部的电荷量发生改变时, 电容器两端的电压才能发生改变, 刚开始放电时电容器内部的电荷不能释放, 所以电容器两端的电压不变。

## ★7.2.4 电解电容器主要特性

### 重要提示

电解电容器是电容器中的一种, 所以它具有一般电容器的特性, 由于电解电容器的结构原因, 这种电容器还有其他的一些特性。

### 1. 大容量电解电容器高频特性差

电解电容器是一种低频电容器, 即它主要工作在频率较低的电路中, 不宜工作在频率较高的电路中, 因为电解电容器的高频特性不好, 容量很大的电解电容器其高频特性更差, 如图 7-8 所示是大容量电解电容器的等效电路, 从中可以找到大容量电解电容器高频特性差的原因。

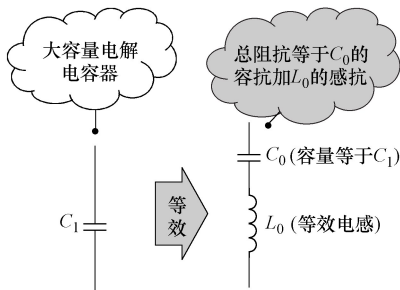


图 7-8 大容量电解电容器的等效电路

### 重要提示

从理论上讲, 对电容器而言, 当容量一定后, 频率越高容抗越小, 电解电容器的容量大, 它的容抗应该很小, 但是从它的等效电路中可以看出, 一个容量比较大的电解电容器由一个容量等于  $C_1$  的纯电容  $C_0$  和一个电感  $L_0$  (等效电感) 串联而成。

在等效电路中, 由于大容量的电解电容器还串联有一个等效电感  $L_0$  的存在。当频率较高时纯电容  $C_0$  的容抗很小, 但是  $L_0$  的感抗较大 (频率越高, 感抗越大), 结果大电容器总的阻抗高频时不是减小, 反而增大, 这说明大容量电解电容器的高频特性差。

### 原因提示

大容量电解电容器产生等效电感  $L_0$  的原因是: 由电解电容器结构可知, 电容器两极板由铝箔 (指铝电解电容器) 构成, 铝箔是导体, 为了减小电解电容器的体积而将铝箔卷起来。

由电感器结构可知, 将一个导体卷绕起来会出现电感。由于大容量电解电容器容量大, 它的铝箔更长, 卷绕得更多, 这样等效电感存在且大到不能忽视的程度, 导致大容量电解电容器的高频特性差。

### 2. 电解电容器漏电阻比较大

从理论上讲, 电容器两极板之间绝缘, 没有电流流过, 但是电解电容器的漏电阻比较大, 两极板之间有较大的电流流过。

电容器漏电说明电容两极板之间存在漏电阻, 如图 7-9 所示, 漏电流是通过这一漏电阻

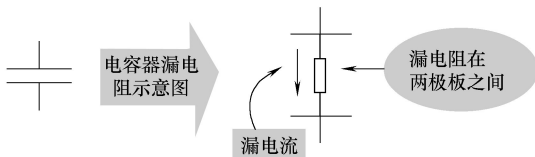


图 7-9 电容器漏电阻示意图



从电容器一个极板流到另一个极板的。

漏电流比较大说明电容器两极板之间的漏电阻较小。漏电阻大，则漏电流小。



#### 重要提示

电解电容器的漏电流影响了电容器的性能，对信号的损耗比较大，漏电严重时电容器在电路中不能正常工作，所以这一漏电流应该越小越好。电解电容器的容量越大时，它的漏电流越大。

### ★7.2.5 电感器主要特性



#### 重要提示

电感器在电路中有时单独使用，有时则与其他元器件一起构成一个功能电路或单元电路。电感器典型的应用电路有三种：与电容器构成  $LC$  串联谐振电路、与电容器构成  $LC$  并联谐振电路和单独使用时构成滤波电路。

在分析含有电感器的电路时，要掌握电感器的主要特性，这对电感电路分析相当重要。

#### 1. 电感器感抗特性

电感器的感抗大小与两个因素有关：电感器的电感量  $L$  和流过电感器的交流电流频率  $f$ 。

电感器的感抗  $X_L$  计算公式如下，通过这一计算公式可以进一步理解感抗、电感量、频率三者之间的关系

$$X_L = 2\pi fL$$

式中， $X_L$  为电感器的感抗； $f$  为流过电感器交流电流的频率； $L$  为电感器的电感量。

当交流电流通过电感器时，感抗对交流电流的影响类似于电阻对电流的阻碍作用，所以在分析电路时可以将电感器的感抗进行“电阻”的等效理解，如图 7-10 所示，等效电路中的“电阻”与频率高低、电感量大小相关，所以是一个特殊的电感性“电阻”。这样的等效理解如同前面介绍的电容电路中的等效理解，这有利于对电感电路的分析。

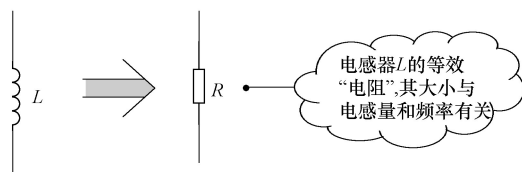


图 7-10 电感器感抗的等效理解电路



#### 记忆方法提示

如图 7-11 所示是电感器等效电阻大小与频率和电感量之间关系的记忆方法示意图。

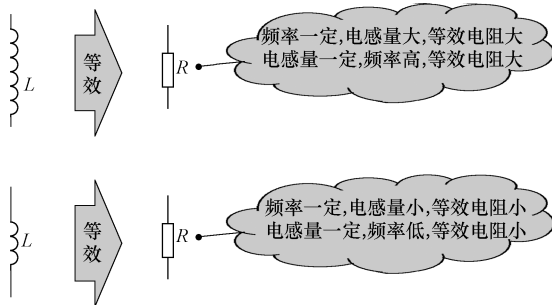


图 7-11 电感器等效电阻大小与频率、电感量之间关系的记忆方法示意图

#### 2. 电感器直流电阻的影响

从阻碍电流这个角度看电感器存在感抗和线圈的直流电阻两种因素，在电感电路分析中这两种



因素的判断方法如下:

1) 对于交流电流而言,线圈的直流电阻对交流电流也有阻碍作用,但是与感抗所起的阻碍作用相比,很小,通常可以忽略不计,而认为只存在感抗的作用,这样有利于简化对电感器所在电路工作原理的分析。

2) 对于直流电流而言,分析电感电路有两种情况:一是根本不考虑电感器的直流电阻对直流电流的影响,这样有利于简化分析,在许多情况下采用这种方法;二是分析电感器所在电路工作原理时,电感器的直流电阻不能忽略,它在电路中起着一定的作用。到底是不是要考虑电感器的直流电阻,要根据具体电路情况而定,这种问题是电路分析中的一个难点。

### 3. 线圈中的电流不能突变特性

前面讲过电容器两端的电压不能突变,对线圈而言则是线圈中的电流不能突变,这一点电容器和电感器又是有所不同的。

当流过线圈的电流大小发生改变时,线圈两端要产生一个反向电动势来维持原电流的大小不变,也就是这一反向电动势不让线圈中的电流发生改变。线圈中的电流变化率越大,其反向电动势越大。

#### 重要提示

线圈这一特性对电路的安全工作有危害,为此许多电路中设置了消除这种反向电动势的保护电路。

分析这种保护电路的工作原理时,需要掌握线圈反向电动势的判别方法,这样才能分析保护电路中元器件的工作过程。

## ★7.2.6 变压器主要特性

### 1. 变压器隔离特性

所谓变压器隔离特性是一次与二次回路之间共用参考点可以隔离。隔离特性是变压器重要特性之一,电源变压器的安全是由这一特性决定的。

如图 7-12 所示电路中的  $T_1$  是电源变压器,输入电压是 220V 交流市电,该电压加在一次线圈 1~2 之间。

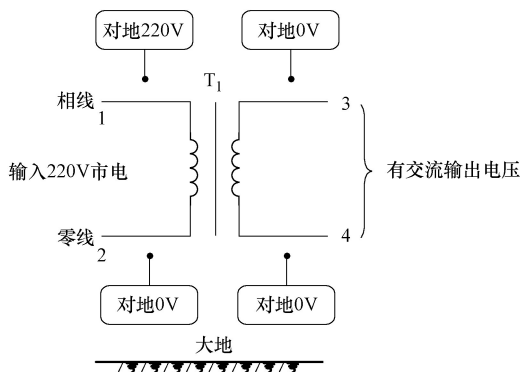


图 7-12 示意图

#### 重要安全提示

由交流市电压的相关特性可知,它的相线与零线之间有 220V 交流电压,而零线与大地(地球)等电位,这样,相线与大地之间存在 220V 交流电压。人站在大地上直接接触相线有生命危险,生命安全必须高度重视。

### 2. 变压器隔直流通交流特性

变压器同电容器一样,也具有隔直流通交流特性,即不让直流电通过变压器,只可以让交流电通过变压器。

如图 7-13 所示是变压器隔直流通交流特性示意图。

给变压器一次线圈加上直流电压时,一次线圈中流过直流电流,一次线圈产生的磁场大小和方向均不变,这时二次线圈不能产生感应电动势,二次线圈两端无输出电压。

由此可知,变压器不能将一次线圈中的直流电耦合到二次线圈中,所以变压器具有隔直流的特性。

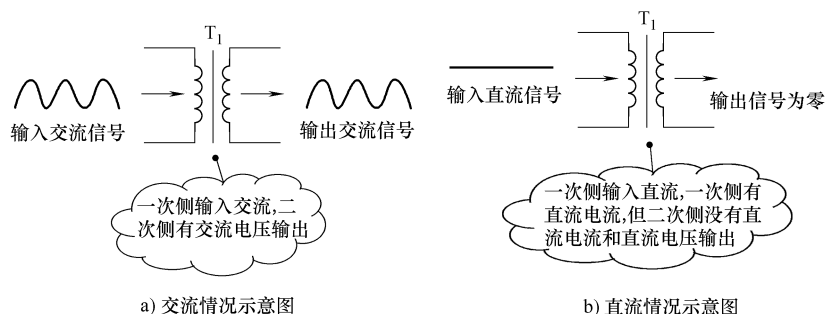


图 7-13 变压器隔直流通交流特性示意图

**重要提示**

对直流电而言, 在直流刚刚加到变压器一次线圈两端的瞬间, 因为变压器一次线圈中流有从零到大的电流, 所以变压器二次线圈在这个瞬间有一个脉冲电压输出, 如图7-14所示。

变压器一次线圈中流过交流电流时, 二次线圈两端有交流电压输出, 所以变压器能够让交流电通过, 具有通交流的作用。

利用变压器的通交流和隔直流特性可构成耦合电路, 即变压器耦合电路。

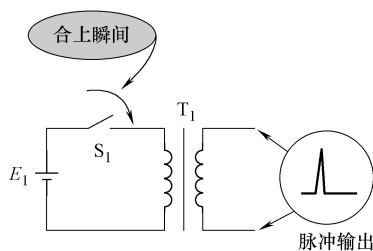


图 7-14 示意图

**3. 变压器输出信号频率特性**

变压器的二次线圈输出电压一定是交流电压, 这一电压的频率也一定与加到一次线圈两端的交流电压频率相同, 如图 7-15 所示, 输入信号频率与输出信号频率相同。

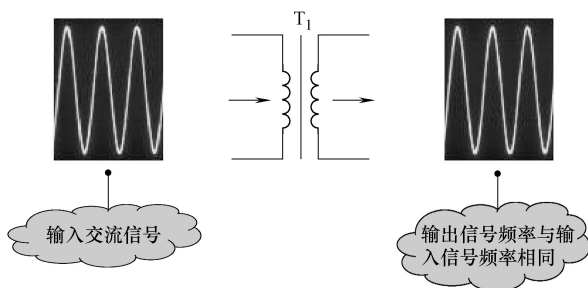


图 7-15 变压器输出信号与输入信号频率相同示意图

**重要提示**

因为一次线圈产生的交变磁场变化规律与输入交流电压的变化规律相同, 而二次线圈交流输出电压变化规律同磁场变化规律一样, 这样输出电压频率同输入电压的频率相同。

变压器的二次输出电压大小可以与一次线圈两端的交流输入电压大小不同, 这由变压器的电压比决定。

**4. 变压器一次线圈和二次线圈回路功率相等**

为了分析的方便, 假设变压器不存在能量的损耗。如图 7-16 所示电路可以说明变压器一次、二次线圈电压和电流之间的关系。

在不考虑变压器损耗情况下，变压器一次线圈回路功率  $P_1$  和二次线圈回路功率  $P_2$  相等，即有下列公式成立：

$$P_1 = P_2$$

将电压和电流代入上述公式后得到：

$$I_1 U_s = I_2 U_o$$

式中： $U_s$  是一次线圈两端电压； $I_1$  是一次线圈回路电流； $U_o$  是二次线圈两端电压； $I_2$  是二次线圈回路电流。

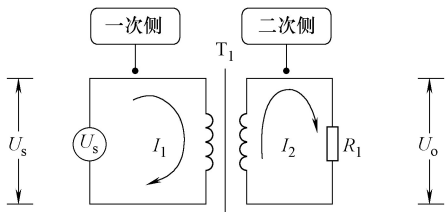


图 7-16 变压器电路

(1) 降压变压器。降压变压器的二次线圈输出电压虽然低，但是输出电流大，所以在降压变压器中二次线圈的线径比一次线圈要粗，因为二次线圈中的电流大于一次线圈中的电流。



重要提示

因为一次线圈回路功率等于二次线圈回路功率，所以一次线圈两端电压高时，其一次线圈回路中的电流小。同理，二次线圈两端电压低时，其二次线圈回路中的电流大。

(2) 升压变压器。升压变压器的输出电压虽然高，但是输出电流小，所以在升压变压器中二次线圈的线径比一次线圈的要细，因为二次线圈中的电流小于一次线圈中的电流。

5. 变压器一次和二次线圈之间阻抗关系

变压器不仅可以进行电压大小的转换，而且还可以进行阻抗的变换。不同电压比  $n$  情况下一次线圈与二次线圈的阻抗特性如下 ( $Z_1$  为一次线圈输入阻抗， $Z_2$  为二次线圈输出阻抗)。

表 7-13 是 3 种不同  $n$  值情况阻抗特性说明。

表 7-13 3 种不同  $n$  值情况阻抗特性说明

| 电压比     | 变压器名称   | 阻抗关系说明                                                              |
|---------|---------|---------------------------------------------------------------------|
| $n = 1$ | 1:1 变压器 | $Z_1 = Z_2$ , 说明一次线圈的输入阻抗等于二次线圈输出阻抗, 变压器无阻抗变换作用                     |
| $n > 1$ | 降压变压器   | $Z_1 > Z_2$ , 变压器一次线圈输入阻抗大于二次线圈输出阻抗, 电压比 $n$ 越大, 线圈输入阻抗越是大于二次线圈输出阻抗 |
| $n < 1$ | 升压变压器   | $Z_1 < Z_2$ , 说明一次线圈的输入阻抗小于二次线圈输出阻抗, 电压比 $n$ 越小, 线圈输入阻抗越是小于二次线圈输出阻抗 |

★7.2.7 二极管主要特性



重要提示

二极管的特性有许多，利用这些特性可以构成各种具体的应用电路，分析不同电路中的二极管工作原理时，要用到二极管的不同特性，选择二极管的什么特性去分析电路是最大困难之一。只有掌握了二极管的各种特性，才能从容地分析二极管电路的工作原理。

1. 单导电方向性

二极管最基本和重要的特性是单向导电特性。流过二极管的电流只能从正极引脚流向负极引脚，不能从负极引脚流向正极引脚，这即为二极管的单向导电特性，如图 7-17 所示。

2. 二极管正向压降基本不变特性

二极管正向导通后的管压降基本不变，但不是绝对不变的，下列因素会导致二极管的管压降有一个微小的变化：



1) 当温度升高时, 其管压降会略有下降; 温度降低时, 其管压降会略有增大。

2) 正向电流增大许多时, 正向压降会有微小的增大变化。换句话说讲, 当正向电压有一个微小的增大变化时, 将引起正向电流很大的增大变化, 反之则为减小变化。

### 3. 利用二极管温度特性

利用二极管的管压降随温度微小变化的特性可以设计成温度补偿电路, 在分析这种温度补偿电路时不了解二极管这种特性, 电路工作原理就无法分析。

### 4. 二极管正向电阻小、反向电阻大特性

电阻器的标称阻值没有正向和反向之分, 二极管由于具有单向导电特性, 所以它的两根引脚之间的电阻分为正向电阻和反向电阻两种。

如图 7-18 所示是二极管的正向电阻和反向电阻等效电路。

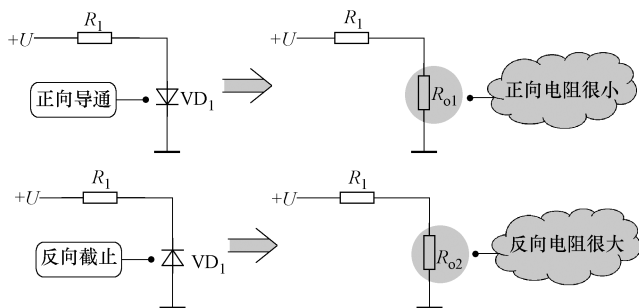
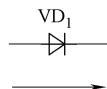


图 7-18 二极管的正向电阻和反向电阻等效电路



电流只能在一个方向流动

图 7-17 示意图

### 重要提示

正向电阻是二极管正向导通后正、负极之间的电阻 (是 PN 结的正向电阻), 这一电阻很小, 即正向电阻小。

反向电阻是二极管处于反向偏置而未击穿时的电阻 (是 PN 结的反向电阻), 这一电阻很大, 即反向电阻大。正、反向电阻的大小是相对的, 即反向电阻远远大于正向电阻, 并且希望越大越好。

### 5. 正向电流与正向电阻之间关系

二极管的正向电阻大小还与正向电流大小相关, 当二极管的正向电流变化时, 二极管的正向电阻将随之做微小的变化, 正向电流越大, 正向电阻越小, 如图 7-19 所示, 反之则大。

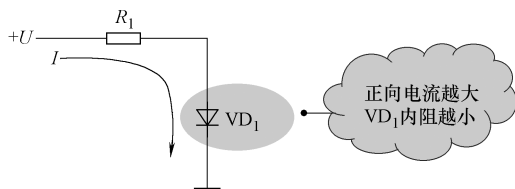


图 7-19 示意图

### 重要提示

一些控制电路中, 利用二极管的这一特性实现电路的控制功能, 如二极管 ALC 电路。

### 6. 二极管开关特性

利用二极管正向电阻和反向电阻相差很大的特性, 可以将二极管作为电子开关器件, 即所谓的二极管开关电路。

二极管正向导通时, 其内阻很小, 相当于开关接通; 二极管截止时, 它两根引脚之间的电阻很大, 相当于开关断开。如图 7-20 所示是二极管开关特性记忆示意图。

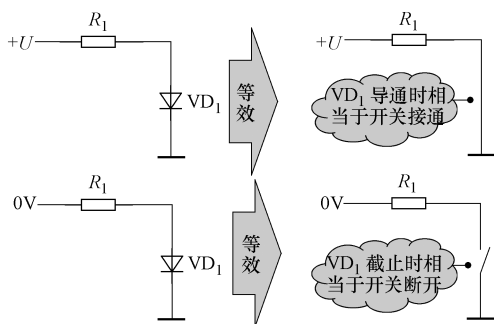


图 7-20 二极管开关特性记忆示意图

#### 重要提示

二极管开关与机械式开关相比，二极管导通时的内阻没有为零，二极管截止时电阻没有为开路。但是，二极管这两种工作状态下的电阻已经相差很大，在电路中可以起到电路通与断的控制作用。

这种二极管开关电路（又称二极管电子开关电路）的优点是开关速度快，而机械式开关在开关速度上不能与它相比。所以，在电子电路中，广泛使用各种电子开关电路。

### ★7.2.8 稳压二极管主要特性

稳压二极管的基本结构是 PN 结，所以与普通二极管具有相似的性能，但是它也有特性，主要说明如下几点：

- 1) 加到稳压二极管上的电压达到  $U_Z$  时，稳压二极管击穿，两引脚之间的电压大小基本不变，利用这一特性可以进行稳压。
- 2) 稳定电压  $U_Z$  大小受温度变化影响。
- 3) 稳压二极管的 PN 结加上正向偏置电压时，它也可以作为一个普通二极管使用，由于稳压二极管成本较高，所以电路中不会用稳压二极管作为普通二极管使用。

### ★7.2.9 发光二极管主要特性

#### 1. 正向电阻和反向电阻特性

发光二极管正向和反向电阻均比普通二极管大得多，了解这一点对检测二极管有重要指导意义。

#### 2. 发光强度与环境温度关系

温度越低，发光强度越大。当环境温度升高后，发光强度将明显下降。

### ★7.2.10 晶体管主要特性

#### 重要提示

晶体管是一个电流控制器件，它用基极电流来控制集电极电流和发射极电流，没有基极电流就没有集电极电流和发射极电流。

#### 1. 晶体管电流放大特性

晶体管电流放大能力很容易理解和记忆。只要有一个很小的基极电流，晶体管就会有一个很大





的集电极和发射极电流，这是由晶体管特性所决定的，不同的晶体管有不同的电流放大倍数，所以不同晶体管对基极电流放大能力是不同的。

基极电流是信号输入电流，集电极电流和发射极电流是信号输出电流，信号输出电流远大于信号输入电流，说明晶体管能够对输入电流进行放大。在各种放大器电路中，就是用晶体管的这一特性来放大信号。



#### 重要提示

晶体管在正常工作时，它的基极电流、集电极电流和发射极电流同时存在，同时消失。

### 2. 晶体管基极电流控制集电极电流特性

当晶体管工作在放大状态时，晶体管集电极电流和发射极电流由直流电源提供，晶体管本身并不能放大电流，只是用基极电流去控制由直流电源为集电极和发射极提供的电流，这样等效理解成晶体管放大了基极输入电流。

如图 7-21 所示电路可以说明晶体管基极电流控制集电极电流的过程。电路中的  $R_2$  为晶体管  $VT_1$  集电极提供电流通路，流过  $VT_1$  集电极的电流回路是：直流工作电压  $+U$  → 集电极电阻  $R_2$  →  $VT_1$  集电极 →  $VT_1$  发射极 → 地线，构成回路。

集电极电流由直流工作电压  $+U$  提供，但是集电极电流的大小受基极电流的控制，基极电流大集电极电流大，基极电流小集电极电流小，所以基极电流只是控制了直流电源  $+U$  为  $VT_1$  集电极所提供电流的大小。

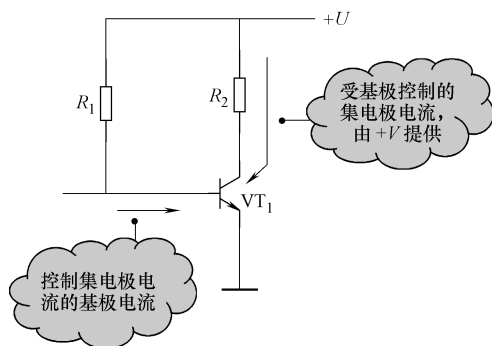


图 7-21 晶体管基极电流控制集电极电流示意图



#### 重要提示

晶体管能将直流电源的电流按照基极输入电流的要求转换成集电极电流和发射极电流，从这个角度上讲晶体管是一个电流转换器件。所谓电流放大，就是将直流电源的电流，按基极输入电流的变化规律转换成集电极电流和发射极电流。

### 3. 晶体管集电极与发射极之间内阻可控特性

如图 7-22 所示是晶体管集电极和发射极之间内阻可控特性的等效电路。

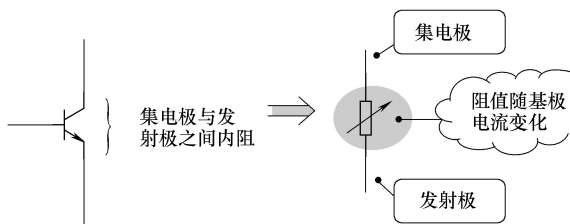


图 7-22 晶体管集电极和发射极之间内阻可控特性等效电路



#### 重要提示

晶体管集电极和发射极之间的内阻随基极电流大小变化而变化，当基极电流越大时，晶体管的这一内阻越小，反之则大。利用晶体管集电极和发射极之间的内阻随基极电流大小而变化的特性，可以设计成各种控制电路。

#### 4. 晶体管开关特性

晶体管同二极管一样，也可以作为电子开关器件，构成电子开关电路。当晶体管用于开关电路中时，晶体管工作在截止、饱和两个状态。

(1) 开关接通状态。这时晶体处于饱和状态，集电极与发射极之间内阻很小，如图 7-23 所示是等效电路示意图。

晶体管基极是控制极，基极电流很大，晶体管进入饱和状态。

(2) 开关断开状态。这时晶体管处于截止状态，集电极与发射极之间内阻很大，如图 7-24 所示是等效电路示意图。

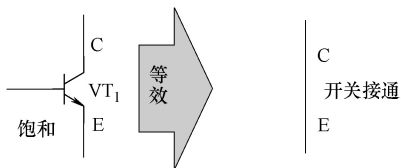


图 7-23 开关接通等效电路

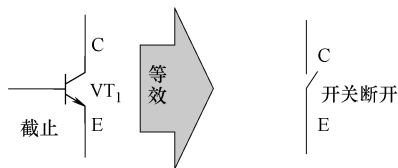


图 7-24 开关断开等效电路

#### 重要提示

基极电流为零，晶体管处于截止状态。晶体管在截止、饱和时集电极与发射极之间的内阻相差很大，可以用晶体管作为电子开关器件。

#### 5. 发射极电压跟随基极电压特性

如图 7-25 所示电路可以说明晶体管发射极电压跟随基极电压示意图。

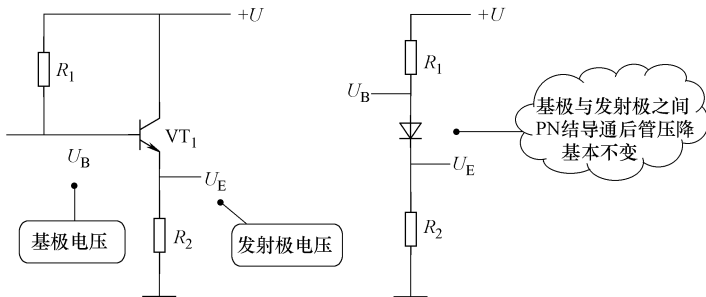


图 7-25 晶体管发射极电压跟随基极电压示意图

晶体管进入放大工作状态后，基极与发射极之间的 PN 结已处于导通状态，这一 PN 结导通后压降大小基本不变。这样，基极电压升高时发射极电压也升高，基极电压下降时发射极电压也下降，显然发射极电压跟随基极电压变化而变化。

#### 重要提示

晶体管的发射极电压跟随特性有一定条件，并不是在任何电压下均存在这一特性，只在基极与发射极之间的 PN 结处于导通状态时，发射极电压才跟随基极电压。

晶体管的直流电路分析过程中用到这一特性。无论是 NPN 型还是 PNP 型晶体管都具有这样的特性。

### ★7.2.11 场效应晶体管主要特性

#### 1. 场效应晶体管输入电阻大

输入电阻大可以减轻前级放大器、信号源的负载。换言之，输入电阻大可以减轻前级放大器、信号源的输出电流。



重要提示：场效应晶体管栅、源极之间的 PN 结处于反向偏置状态或绝缘状态，所以栅极电流很小很小，或几乎为零，这使得管子的输入电阻很大。结型场效应管的输入电阻达  $10^8 \Omega$  以上，而绝缘栅场效应晶体管则更大。

## 2. 场效应晶体管电压控制特性

场效应晶体管与晶体管的根本不同在于，前者是电压控制器件，即栅极电压的变化可以引起漏极电流的变化，则不需要栅极电流就能获得漏极电流，而后者则是电流控制器件，要求信号源必须有电流流入管子，即必须有基极电流的变化才能引起集电极电流的变化。

## 3. 场效应晶体管栅极偏置特性

场效应管同晶体管一样，用于放大信号时要给予它适当的偏置电压，即给栅极一个直流偏置电压。这一电压是加到栅极与源极之间的。

对结型场效应晶体管而言，栅极与源极之间应加反向偏置电压。

对于绝缘栅场效应晶体管而言，视是增强型还是耗尽型而有所不同：对增强型管而言，栅极与源极之间应采用正向偏置；对耗尽型管而言，栅极与源极之间可加正向、零、反向偏置。

表 7-14 是几种常见类型场效应晶体管偏置电压说明。

表 7-14 几种常见类型场效应晶体管偏置电压说明

| 场效应晶体管类型         | 栅极电压极性( $U_{GS}$ )      | 漏极电压极性( $U_{DS}$ ) |
|------------------|-------------------------|--------------------|
| N 沟道结型场效应晶体管     | 负极性,栅极电压低于源极电压          | 正极性,漏极电压高于源极电压     |
| P 沟道结型场效应晶体管     | 正极性,栅极电压高于源极电压          | 负极性,漏极电压低于源极电压     |
| P 沟道增强型绝缘栅场效应晶体管 | 负极性,栅极电压低于源极电压          | 负极性,漏极电压低于源极电压     |
| N 沟道增强型绝缘栅场效应晶体管 | 正极性,栅极电压高于源极电压          | 正极性,漏极电压高于源极电压     |
| N 沟道耗尽型绝缘栅场效应晶体管 | 正、零、负,栅极电压可高于、等于和低于源极电压 | 正极性,漏极电压高于源极电压     |

## 7.3 数十种元器件特性曲线

本节阅读建议：细心阅读，全面掌握诸多元器件特性曲线的含义，在电路识图和电路设计中学会使用这些特性曲线。

本节难度系数：5 级。

本节记忆系数：5 级。



### 重要提示

通过元器件特性曲线可以快速认识元器件主要特性，可以为电路分析和电路设计提供参考。

### ★7.3.1 电阻器负载曲线和压敏电阻器特性曲线

#### 1. 电阻器负载曲线

对于电阻器而言，它所能承受的功率负载与环境温度有关，其关系可用如图 7-26 所示负载曲线来说明。图中， $P$  为允许功率， $P_R$  为额定功率， $t_R$  为额定环境温度， $t_{min}$  为最低环境温度， $t_{max}$  为最高环境温度。

从曲线中可以看出，当温度低于额定环境温度时，允许功率  $P$  等于额定  $P_R$ 。当温度大于  $t_R$  后，允许功率直线下降，所以，电阻器在高温下很容易烧坏。

#### 2. 压敏电阻器 $U-I$ 特性曲线

如图 7-27 所示是压敏电阻器  $U-I$  特性曲线（对称型）。当加到压敏电阻器两端的电压小于标称额定电压值时，流过压敏电阻器的电流很小，这说明此时压敏电阻器的阻值很大。

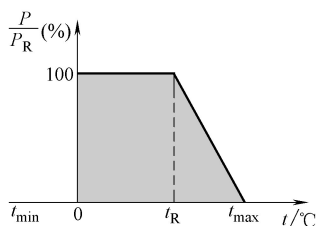


图 7-26 电阻器负载曲线

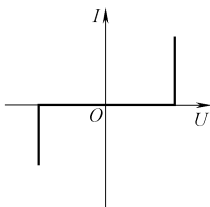


图 7-27 压敏电阻器  $U-I$  特性曲线（对称型）

当它两端的电压略高于标称额定电压时，压敏电阻器将迅速击穿导通，流过压敏电阻器的电流迅速增大，并由高阻状态变为低阻状态。此时，如果加到压敏电阻器两端电压又低于标称额定电压时，压敏电阻器又能恢复为高阻状态。当压敏电阻器两端电压超过其最大限制电压时，压敏电阻器将完全击穿损坏，无法再自行恢复。

#### 重要提示

对于对称型压敏电阻器而言，加在压敏电阻器两端的正向、反向电压具有相同的特性。从这一特性曲线可以看出，它像两只背靠背的稳压二极管特性。

普通电阻器是线性的，遵守欧姆定律，而压敏电阻器的电压与电流则呈特殊的非线性关系。

### 3. 压敏电阻器三个工作区

如图 7-28 所示是压敏电阻器伏—安特性曲线中的三个工作区示意图，它的三个工作区是：预击穿区、击穿区和上升区。

1) 预击穿区。在预击穿区域内，施加于压敏电阻器两端的电压小于其压敏电压，因此压敏电阻器相当于一个  $10\text{M}\Omega$  以上的绝缘电阻，这时通过压敏电阻器的阻性电流仅为微安级，压敏电阻器可看作为开路。该区域是电路正常运行时压敏电阻器所处的状态。

2) 击穿区。压敏电阻器两端施加一个大于压敏电压的过电压时，压敏电阻器端电压的微小变化就可引起电流的急剧变化，压敏电阻器正是用这一特性来抑制过电压幅值和吸收或对地释放过电压引起的浪涌能量。

3) 上升区。当过电压很大，使得通过压敏电阻器的电流大于约  $100\text{A}/\text{cm}^2$  时，压敏电阻器的伏—安特性呈线性电导特性，上升区电流与电压几乎呈线性关系，压敏电阻器在该区域已经劣化，失去了其抑制过电压、吸收或释放浪涌的能量等特性。

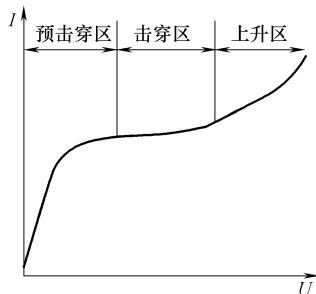


图 7-28 压敏电阻器伏—安特性曲线中三个工作区示意图

## ★7.3.2 热敏电阻器特性曲线

### 1. PTC 热敏电阻器阻值—温度特性曲线

如图 7-29 所示是 PTC 热敏电阻器的阻值—温度特性曲线，阻值—温度特性曲线是在规定电压下，PTC 热敏电阻器的零功率电阻值与电阻本体温度之间的关系。

当温度低于居里点  $T_c$  时，具有半导体特性，阻值小。

当温度高于居里点  $T_c$  时，电阻随温度升高而急剧增大，至  $T_N$  温度时出现负阻现象，即温度再升高时阻值则下降。

### 2. PTC 热敏电阻器伏—安特性曲线

如图 7-30 所示是 PTC 热敏电阻器的伏—安特性曲线，电压—电流特性曲线是加在热敏电阻器



引出端的电压与达到热平衡的稳态条件下的电流之间的关系。

### 3. PTC 热敏电阻器电流—时间特性曲线

如图 7-31 所示是 PTC 热敏电阻器的电流—时间特性曲线，从曲线中可以看出，通电瞬间产生强大电流而后很快衰减。

### 4. 负温度系数（NTC）热敏电阻阻值—温度特性曲线

如图 7-32 所示是负温度系数（NTC）热敏电阻阻值—温度特性曲线，从曲线可以看出，随着温度升高，阻值在下降。

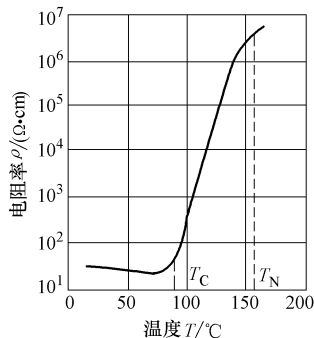


图 7-29 PTC 热敏电阻器阻值—温度特性曲线

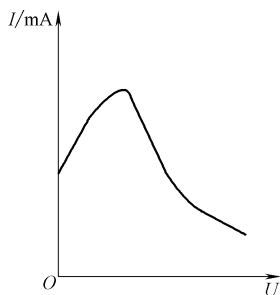


图 7-30 PTC 热敏电阻器的伏—安特性曲线

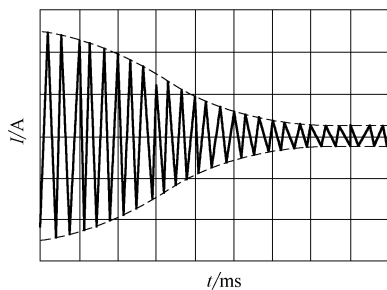


图 7-31 PTC 热敏电阻器的电流—时间特性曲线

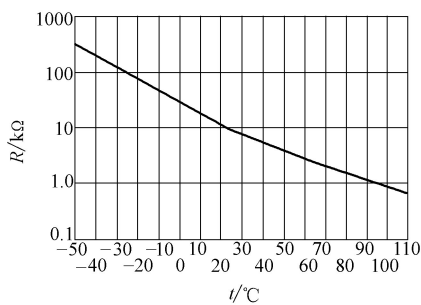


图 7-32 负温度系数（NTC）热敏电阻阻值—温度特性曲线

关于 NTC 热敏电阻器阻值—温度特性说明下列几点：

- 1) 阻值与温度之间为线性特性。在相当宽的温度范围内，其阻值与温度之间呈线性关系，它是一种比较理想的热敏电阻器。
- 2) 精度高。电阻值的偏差都很小，相当于温度范围为  $100T$  时，温度偏差小于  $0.5\%$ ，这相当于对测量温度的影响小于  $\pm 0.25^\circ$ 。
- 3) 可靠性高。NTC 热敏电阻器在高温条件下试验 2000h，其电阻变化率几乎为零，没有老化现象。
- 4) 小型化，响应快。陶瓷工艺技术的进步，现在已可以生产出直径在  $0.5\text{mm}$  以下的珠状及松叶状热敏电阻器，它们在水中的热时间常数仅为  $0.1 \sim 0.2\text{s}$ 。
- 5) 成本低，价格便宜。

### 5. CTR 热敏电阻器电阻—温度特性曲线



#### 重要提示

CTR 热敏电阻器是以三氧化二钒与钡、硅等的氧化物，在磷、硅的氧化物的弱还原气氛中混合烧结而成的，它呈半玻璃状，具有负温度系数。通常 CTR 热敏电阻器用树脂包封成珠状或厚膜



形使用，其阻值在  $1\text{k}\Omega \sim 10\text{M}\Omega$  之间。

如图 7-33 所示是 CTR 热敏电阻器电阻—温度特性曲线。CTR 热敏电阻器随温度变化的特性属剧变型，具有开关特性。

## 6. CTR、PTC 和 NTC 三种热敏电阻器电阻—温度特性曲线比较

如图 7-34 所示是 CTR、PTC 和 NTC 三种热敏电阻器电阻—温度特性曲线比较示意图。

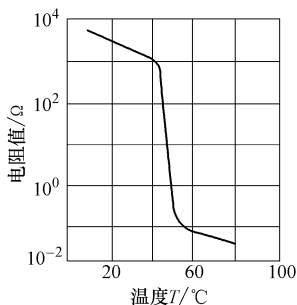


图 7-33 CTR 热敏电阻器电阻—温度特性曲线

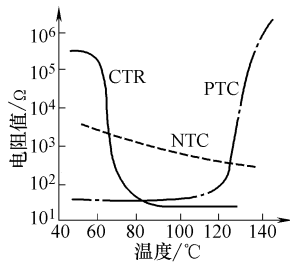


图 7-34 CTR、PTC 和 NTC 三种热敏电阻器电阻—温度特性曲线比较

### 重要提示

由于 CTR 热敏电阻器温度特性存在剧变性，因而不能像普通热敏电阻器那样用于宽范围的温度控制，只能在特定的温度区域内使用。

## ★7.3.3 光敏电阻器、湿敏电阻器和磁敏电阻器特性曲线

### 1. 光敏电阻器伏—安特性曲线

如图 7-35 所示是光敏电阻器伏—安特性曲线，从图中可以看出光敏电阻器的伏安特性近似为直线，而且没有饱和现象。

### 2. 光敏电阻器光—电特性曲线

如图 7-36 所示是光敏电阻器光—电特性曲线，光敏电阻器的光电流与光照度之间关系称为光电特性，光敏电阻器的光电特性呈非线性，因此不适宜做检测元件，这是光敏电阻器的一个缺点。

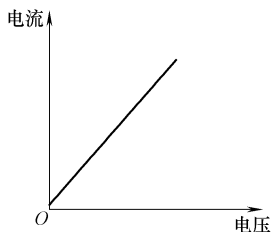


图 7-35 光敏电阻器伏—安特性曲线

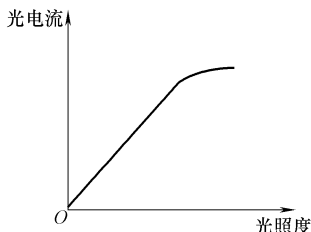


图 7-36 光敏电阻器光—电特性曲线

### 3. 负电阻特性湿敏电阻器电阻—相对湿度特性

如图 7-37 所示是一种湿敏电阻的电阻—相对湿度特性曲线，从曲线中可以看出，相对湿度增大时阻值下降，可见这是负电阻湿度特性。

### 4. 正电阻特性湿敏电阻器电阻—相对湿度特性

如图 7-38 所示是碳膜湿敏电阻器的电阻—相对湿度特性曲线，这是正电阻特性湿敏电阻器。从曲线中可以看出，相对湿度增大时阻值增大，可见这是正电阻湿度特性。

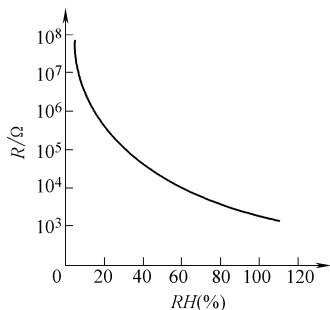


图 7-37 湿敏电阻的电阻—相对湿度特性曲线

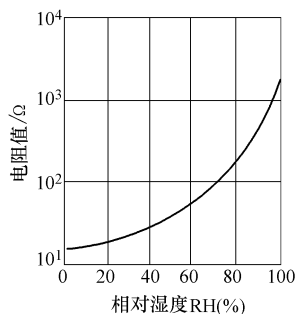


图 7-38 碳膜湿敏电阻器的电阻—相对湿度特性曲线

碳膜湿敏电阻器在  $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$  之间的检测精度一般为  $\pm 2\% RH$ ，在低湿度条件下的响应特性较好。

碳膜湿敏电阻器虽然制作工艺简单，却存在着灵敏度较低，滞差较大以及容易老化等缺点。

### 5. 气敏电阻器灵敏度与温度之间特性曲线

如图 7-39 所示是气敏电阻器灵敏度与温度之间特性曲线，纵坐标为灵敏度，即由于电导率的变化所引起在负载上得到的信号电压。从曲线中可以看出，在室温下电导率变化不大，当温度升高后，电导率就发生较大的变化，因此气敏电阻器在使用时需要加温。

### 6. 气敏电阻器阻值—气体浓度特性曲线

如图 7-40 所示是气敏电阻器阻值—气体浓度特性曲线，从图中可以看出，气敏电阻器对乙醚、乙醇、氢以及正乙烷等具有较高灵敏度。

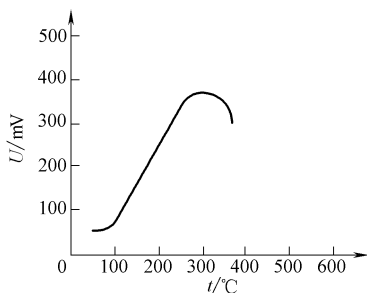


图 7-39 气敏电阻器灵敏度与温度之间特性曲线

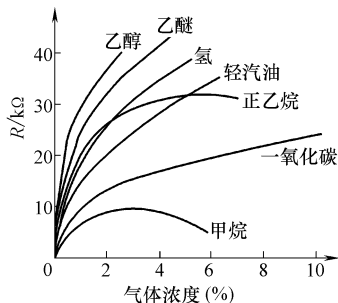


图 7-40 气敏电阻器阻值—气体浓度特性曲线

### 7. 磁敏电阻器磁感应强度—电阻特性曲线

如图 7-41 所示是磁敏电阻器磁感应强度—电阻特性曲线，即  $B-R$  特性曲线。图中纵坐标是  $R_B/R_0$ （磁感应强度为  $B$  时的阻值为  $R_B$ ，无磁场时电阻值为  $R_0$ ），横坐标是磁感应强度。

## ★7.3.4 五种类型电位器特性曲线

### 1. X 型电位器

X 型电位器称为线性电位器，阻值分布特性是线性的。如图 7-42 所示是 X 型电位器阻值特性曲线。

从曲线中可以看出，动片从起始端均匀转动（或滑动）时，阻值在均匀增大。整个动片行程内，在动片触点移动的单位长度内，阻值变化量处处相等，即阻值变化是线性的，线性电位器由此得名。

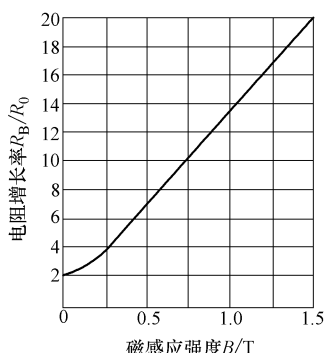


图 7-41 磁敏电阻器磁感应强度—电阻特性曲线

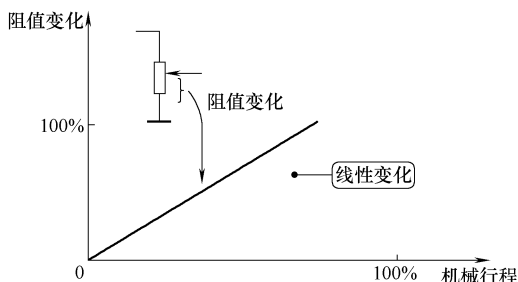


图 7-42 X 型电位器阻值特性曲线

### 重要提示

在 X 型电位器中，当动片转动至一半机械行程处时，动片到两个定片的阻值相等。由于 X 型电位器是线性的，所以这种电位器的两个定片可以互换。

## 2. Z 型电位器

如图 7-43 所示是 Z 型电位器阻值特性曲线。

Z 型电位器整个动片行程内，动片触点移动的单位长度内，阻值变化量处处不相等，随着动片的向上滑动，单位长度内阻值变化量增大。

动片触点刚开始滑动（顺时针方向转动转柄）的那部分，动片与地端定片之间的阻值上升比较缓慢，动片触点滑到后来阻值迅速增大，阻值分布特性同指数曲线一样，所以称为指数型电位器。

动片转动到最后时（全行程），动片到地端定片之间的阻值等于电位器的标称阻值。当动片转动至一半机械行程处时，动片到两个定片的阻值不相等，到地端定片的阻值远小于到另一个定片的阻值，根据这一特性可以分辨出两个定片中哪一个是接地端的定片。

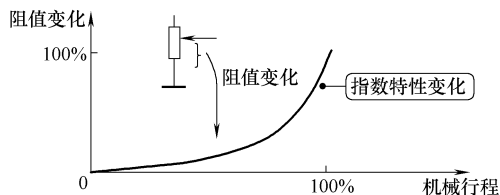


图 7-43 Z 型电位器阻值特性曲线

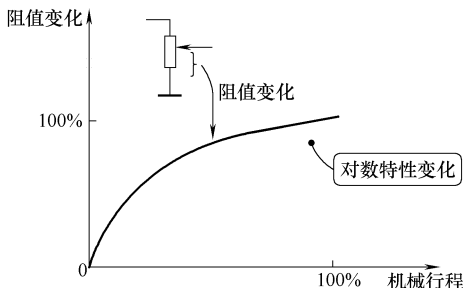


图 7-44 D 型电位器阻值特性曲线

## 3. D 型电位器

D 型电位器又称对数型电位器，它同 Z 型电位器一样属于非线性电位器。如图 7-44 所示是 D 型电位器阻值特性曲线。

D 型电位器在动片触点刚开始滑动时阻值迅速增大，到后来阻值增大得缓慢。

### 重要提示

对于 Z 型和 D 型电位器，由于阻值分布特性的原因，它们的两个定片引脚不能相互接反，两个定片中有一个应接地，当动片逆时针方向转动到头后，动片与地端定片之间的阻值为零，通过测量动片与定片之间的电阻值可以分辨出两个定片中哪个是应接地的定片。

## 4. S 型电位器

如图 7-45 所示是 S 型电位器阻值特性曲线。



从阻值特性曲线中可以看出,在转柄转动的起始部分和最后部分,阻值增大明显变缓,在中间部分,阻值增大率很大。

这种电位器可以用在立体声平衡控制器电路中。

### 5. 半有效电气行程双联同轴电位器

如图 7-46 所示是半有效电气行程双联同轴电位器阻值特性曲线。实线是一个联的阻值特性曲线,虚线是另一个联的阻值特性曲线,它们的特性恰好相反。

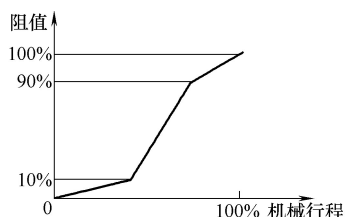


图 7-45 S 型电位器阻值特性曲线

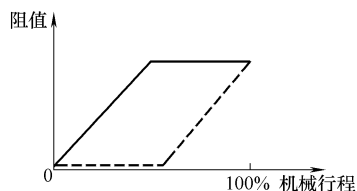


图 7-46 半有效电气行程双联同轴电位器阻值特性曲线

从特性曲线中可以看出,转柄转动时一个联阻值在增大,另一个联阻值为零。当转动到一半行程处时,一个联阻值不再增大,而另一个联的阻值才开始增大。

## ★7.3.5 电容器特性曲线

### 1. 电容器阻抗特性曲线

如图 7-47 所示是电容器的阻抗特性曲线,从曲线中可以看出,当电容器频率高到一定程度后,寄生电感  $L$  的作用显现,总的阻抗特性曲线为  $LC$  串联谐振电路阻抗特性曲线。

如图 7-48 所示是不同容量电容器谐振频率示意图,从曲线中可以看出,容量减小,谐振频率升高。

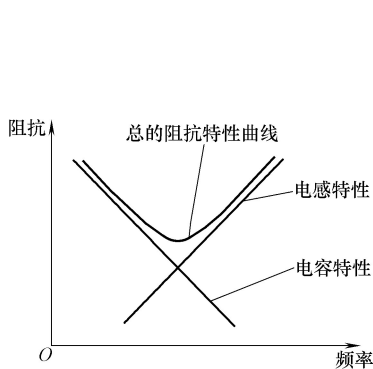


图 7-47 电容器阻抗特性曲线

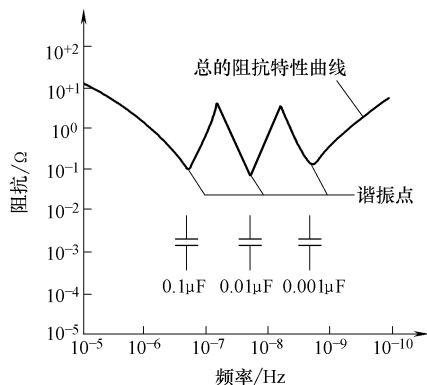


图 7-48 不同容量电容器谐振频率示意图

### 2. 电容充电特性曲线

如图 7-49 所示是从示波器上看到的电容两端充电电压随时间变化特性曲线。刚开始充电时电流大,电容两端充电电压上升速度快,到后面越来越慢了,很短的时间电容两端的电压接近充电的电源电压。

### 3. 电容放电特性曲线

如图 7-50 所示是示波器上观察到的电容放电特性曲线。从曲线中可以看出,开始时放电电流很大,后来越来越小,直至为零。

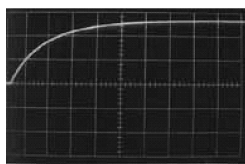


图 7-49 电容两端充电电压随时间变化特性曲线

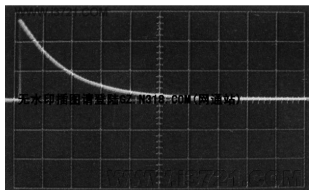


图 7-50 电容放电特性曲线

### ★7.3.6 普通二极管和红外发光二极管特性曲线

#### 1. 普通二极管伏—安特性曲线

如图 7-51 所示是二极管的伏—安 ( $U-I$ ) 特性曲线。曲线中横轴是电压 ( $U$ ), 即加到二极管两极引脚之间的电压, 正电压表示二极管正极电压高于负极电压, 负电压表示二极管正极电压低于负极电压。纵轴是电流 ( $I$ ), 即流过二极管的电流, 正方向表示从正极流向负极, 负方向表示从负极流向正极。

图 7-51 中正向特性曲线, 给二极管加上的正向电压小于一定值时, 正向电流很小, 当正向电压大到一定程度后, 正向电流则迅速增大, 并且正向电压稍许增大一点, 正向电流就增大许多。使二极管正向电流开始迅速增大的正向电压  $U_1$  称之为起始电压。

图 7-51 中反向特性曲线, 给二极管加的反向电压小于一定值时, 反向电流始终很小; 当所加的反向电压大到一定值时, 反向电流迅速增大, 二极管处于电击穿状态。使反向电流开始迅速增大的反向电压称为反向击穿电压  $U_Z$ 。

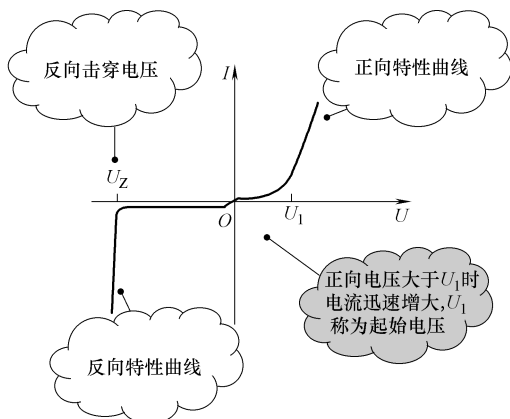


图 7-51 二极管伏—安特性曲线

#### 重要提示

当二极管处于反向击穿状态时, 它便失去了单向导电特性。

#### 2. 红外发光二极管伏—安特性曲线

如图 7-52 所示是红外发光二极管伏—安特性曲线, 它与普通二极管极为相似。当电压越过正向阈值电压 (约 0.8V 左右) 开始有正向电流, 而且是一条很陡直的曲线, 表明其工作电流对工作电压十分敏感。因此要求工作电压准确、稳定, 否则影响辐射功率的发挥及其可靠性。

### ★7.3.7 普通发光二极管特性曲线

#### 1. 普通发光二极管正向伏—安特性曲线

如图 7-53 所示是普通发光二极管正向伏—安 ( $U-I$ ) 特性曲线。发光二极管与普通二极管的伏—安特性相似, 只是发光二极管的正向导通电压值较大。小电流发光二极管的反向击穿电压很小, 约为 6V 至十几伏, 比普通二极管小。

#### 2. 普通发光二极管工作电流与发光相对强度关系特性曲线

如图 7-54 所示是普通发光二极管工作电流与发光相对强度关系特性曲线。对于红色发光二极管而言, 正向工作电流增大时发光相对强度也在增大, 当工作电流大到一定程度后, 曲线趋于平坦 (饱和), 说明发光相对强度趋于饱和; 对于绿色发光二极管而言, 工作电流增大, 发光相对强度增大, 但是没有饱和现象。



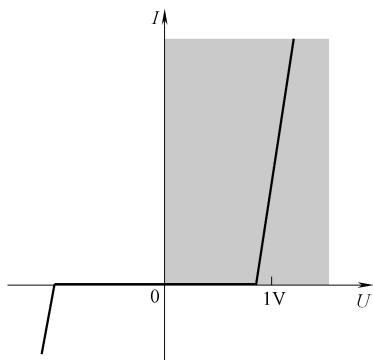


图 7-52 红外发光二极管伏—安特性曲线

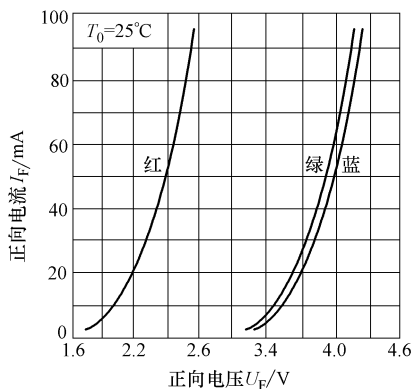


图 7-53 普通发光二极管正向伏—安 ( $U-I$ ) 特性曲线

### 3. 普通发光二极管发光强度与环境温度关系特性曲线

如图 7-55 所示是普通发光二极管发光强度与环境温度关系特性曲线。温度越低，发光强度越大。当环境温度升高后，发光强度将明显下降。

### 4. 普通发光二极管最大允许工作电流与环境温度关系特性曲线

如图 7-56 所示是普通发光二极管最大允许工作电流与环境温度关系特性曲线。当环境温度大到一定程度后，最大允许工作电流迅速减小，最终为零，说明在环境温度较高场合下，发光二极管更容易损坏，这也是发光二极管怕烫的原因。

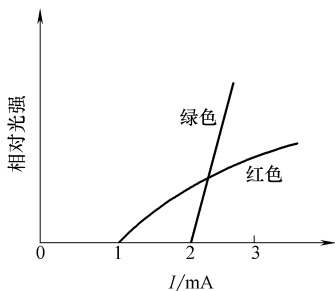


图 7-54 普通发光二极管工作电流与发光相对强度关系特性曲线

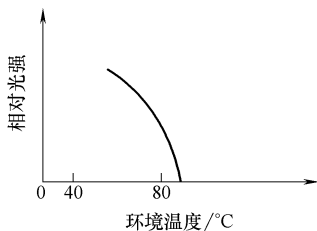


图 7-55 普通发光二极管发光强度与环境温度关系特性曲线

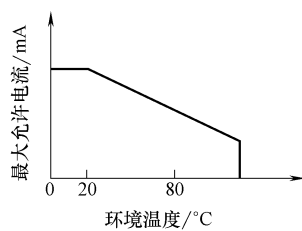


图 7-56 普通发光二极管最大允许工作电流与环境温度关系特性曲线

## ★7.3.8 超高亮 LED 特性曲线

### 1. 超高亮 LED 的正向压降和正向电流特性曲线

如图 7-57 所示是超高亮 LED 的正向压降 ( $U_F$ ) 和正向电流的 ( $I_F$ ) 特性曲线，从曲线中可以看出，当正向电压超过某个阈值 (约 2V，导通电压) 后，可近似认为， $I_F$  与  $U_F$  成正比。当前超高亮 LED 的最高  $I_F$  可达 1A，而  $U_F$  通常为 3~4V。

### 2. 超高亮 LED 的光通量与正向电流特性曲线

如图 7-58 所示是超高亮 LED 的光通量  $\Phi_v$  与正向电流  $I_F$  特性曲线。由于 LED 的光特性通常都描述为电流的函数，而不是电压的函数，因此采用恒流源驱动可以更好地控制亮度。

### 3. 超高亮 LED 温度与光通量 $\Phi_v$ 特性曲线

如图 7-59 所示是一种超高亮 LED 的温度与光通量  $\Phi_v$  特性曲线，从曲线中可以看出，光通量

与温度成反比, 85℃时的光通量是 25℃时的一半, 而 -40℃时光输出是 25℃时的 1.8 倍。温度的变化对 LED 的波长也有一定的影响, 因此, 良好的散热是 LED 保持恒定亮度的保证。

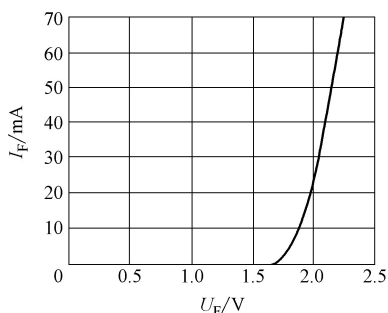


图 7-57 超高亮 LED 的正向压降 ( $U_F$ ) 和正向电流的 ( $I_F$ ) 特性曲线

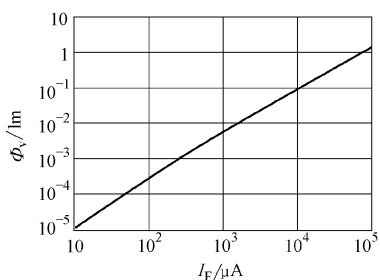


图 7-58 超高亮 LED 的光通量  $\Phi_v$  与正向电流  $I_F$  特性曲线

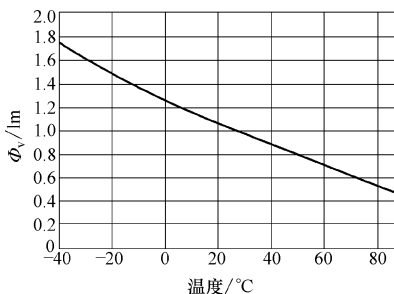


图 7-59 超高亮 LED 的温度与光通量  $\Phi_v$  特性曲线

### ★7.3.9 稳压二极管和变容二极管特性曲线

#### 1. 稳压二极管伏—安特性曲线

如图 7-60 所示是稳压二极管  $U-I$  特性曲线, 它可以说明稳压二极管的稳压原理。从图中可以看出, 这一特性曲线与普通二极管的  $U-I$  特性曲线基本一样。X 轴方向表示稳压二极管上的电压大小, Y 轴方向表示流过稳压二极管的电流大小。

从第一象限的曲线可以看出, 它同普通二极管的正向特性曲线一样, 此时相当于给稳压二极管 PN 结加正向偏置电压, 稳压二极管在进行稳压运用时不用这种偏置方式, 这一点与普通二极管明显不同。

1) 在反向电压较低时, 稳压二极管截止, 它不工作在这一区域。

2) 反向电压增大到  $U_Z$  时, 曲线很陡, 说明流过稳压二极管的电流在大小变化时, 稳压二极管两端的电压大小基本不变, 电压是稳定的, 稳压二极管正是工作在这一状态下。换言之, 当稳压二极管工作在稳压状态时, 稳定电压有很微小变化, 就可以引起稳压二极管很大的反向电流变化。

3)  $U_Z$  是稳压二极管的稳定电压值, 称为稳压值。不同的稳压二极管中, 这一稳定电压大小不同。

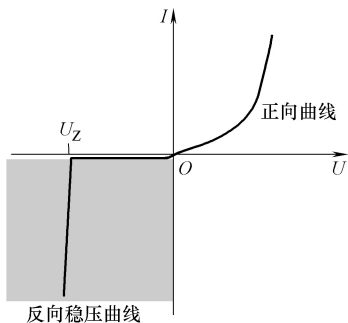


图 7-60 稳压二极管  $U-I$  特性曲线

#### 2. 变容二极管电压—容量特性曲线

如图 7-61 所示是三种变容二极管的电压—容量特性曲线。变容二极管按照 PN 结的结构和结面附近杂质的分布情况不同, 可以分成缓变结、突变结和超变结三种类型。图中 X 轴方向为变容二极管管上的反向偏置电压, Y 轴方向为结电容。

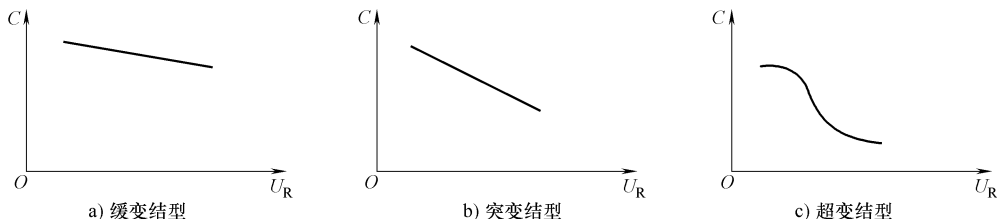


图 7-61 三种变容二极管电压—容量特性曲线



### 重要提示

从图中可以看出，它们的结电容随反向偏置电压的增大而减小，各种类型变容二极管的结电容量变化速率是不同的，缓变结的最慢，超变结的最快。

### 3. 变容二极管频率与 $Q$ 值之间关系特性曲线

如图 7-62 所示是变容二极管频率与  $Q$  值之间关系特性曲线。当频率增高时， $Q$  值要下降，当  $Q$  值下降到 1 时的频率为截止频率。

### 4. 变容二极管反向电压—容量特性曲线

如图 7-63 所示是变容二极管反向电压—容量特性曲线。从曲线中可以看出，反向偏置电压越大，其容量越小。

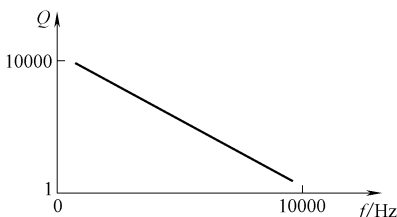


图 7-62 变容二极管频率与  $Q$  值之间关系特性曲线

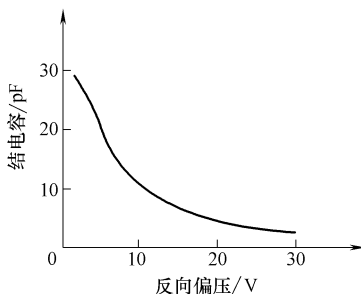


图 7-63 变容二极管反向电压—容量特性曲线

## ★7.3.10 肖特基二极管、恒流二极管和双向触发二极管特性曲线

### 1. 肖特基二极管伏—安特性曲线

如图 7-64 所示是肖特基二极管伏—安特性曲线。

### 2. 恒流二极管伏—安特性曲线

如图 7-65 所示是恒流二极管伏—安特性曲线。从曲线中可以看出，恒流二极管在正向工作时存在一个恒流区，在此区域内电流不随正向电压而变化。它的反向工作特性则与普通二极管的正向特性有相似之处。

### 3. 双向触发二极管伏—安特性曲线

如图 7-66 所示是双向触发二极管伏—安特性曲线，双向触发二极管正、反向伏安特性几乎完全对称。当器件两端所加电压  $U$  低于正向转折电压  $U_{B0}$  时，二极管呈高阻态。当  $U$  大于  $U_{B0}$  时，二极管击穿导通进入负阻区，正向电流迅速增大。同样当  $U$  大于反向转折电压  $U_{BR}$  时，二极管同样能进入负阻区。

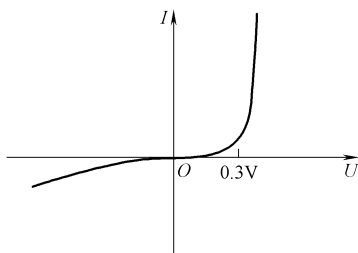


图 7-64 肖特基二极管伏—安特性曲线

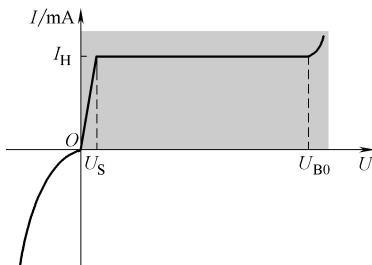


图 7-65 恒流二极管伏—安特性曲线

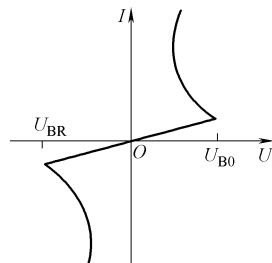


图 7-66 双向触发二极管伏—安特性曲线

### 重要提示

双向触发二极管正、反向伏安特性几乎完全对称,如图 7-66 所示。当器件两端所加电压  $U$  低于正向转折电压  $U_{BO}$  时,二极管呈高阻态。当  $U$  大于  $U_{BO}$  时,二极管击穿导通进入负阻区,正向电流迅速增大。同样当  $U$  大于反向转折电压  $U_{BR}$  时,二极管同样能进入负阻区。

## ★7.3.11 隧道二极管、瞬态电压抑制二极管和硅光敏二极管特性曲线

### 1. 隧道二极管伏—安特性曲线

如图 7-67 所示是隧道二极管的伏—安特性曲线,它与普通二极管特性曲线有很大不同。当正向偏置电压从零增大时,流过隧道二极管的电流从小增大,而且是电压  $U$  很小时电流  $I$  已经相当大。当正向偏置电压大到一定程度时,电流达到最大值而开始下降,即正向电压增大电流减小,这时进入负阻区。

随着正向偏置电压的进一步增大,电流进一步减小到一个最小值(谷点电流),然后正向偏置电压增大电流又开始增大。

电压  $U$  为负值并且不大时,也有相当大的反向电流。

### 2. 瞬态电压抑制二极管伏—安特性曲线

如图 7-68 所示是瞬态电压抑制二极管伏—安特性曲线,它与普通稳压二极管的击穿特性没有什么区别,为典型的 PN 结雪崩器件。

### 3. 瞬态电压抑制二极管时间—电压电流特性曲线

如图 7-69 所示是瞬态电压抑制二极管时间—电压电流特性曲线,曲线 1 是瞬态电压抑制二极管中的电流波形,它表示流过二极管的电流突然上升到峰值,然后按指数规律下降,造成这种电流冲击的原因可能是雷击、过电压等。

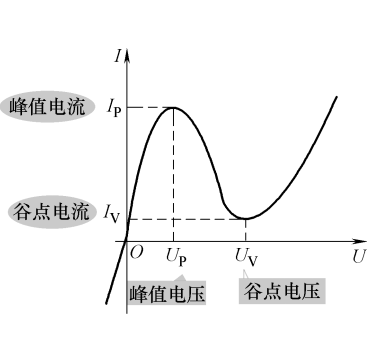


图 7-67 隧道二极管的伏—安特性曲线

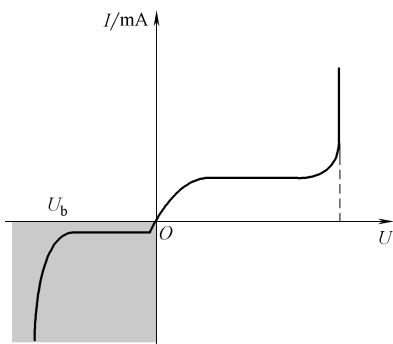


图 7-68 瞬态电压抑制二极管伏—安特性曲线

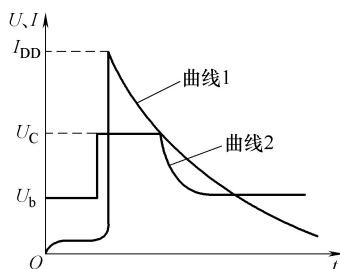


图 7-69 瞬态电压抑制二极管时间—电压电流特性曲线

### 重要提示

曲线 2 是瞬态电压抑制二极管两端电压的波形,它表示二极管中的电流突然上升时,二极管两端电压也随之上升,但是最大只上升到  $U_c$  值,这个值比击穿电压  $U_{BR}$  略大,从而起到保护元器件的作用。

### 4. 硅光敏二极管光照特性曲线

如图 7-70 所示是硅光敏二极管光照特性曲线,从图中可以看出,光敏二极管的光照特性曲线线性比较好。



### ★7.3.12 晶体管输入、输出特性曲线

#### 1. 晶体管输入特性曲线

如图 7-71 所示是晶体管共发射极电路输入特性曲线。图中， $X$  轴为发射结的正向偏置电压大小，对于 NPN 型晶体管而言，这一正向偏置电压用  $U_{BE}$  表示，即基极电压高于发射极电压，对于 PNP 型晶体管而言为  $U_{EB}$ ，即发射极电压高于基极电压。 $Y$  轴为基极电流大小。

从曲线中可以看出，这一输入特性曲线同二极管的伏安特性曲线十分相似。

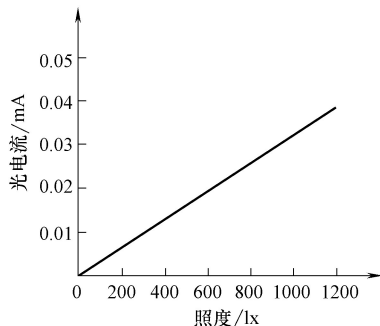


图 7-70 硅光敏二极管光照特性曲线

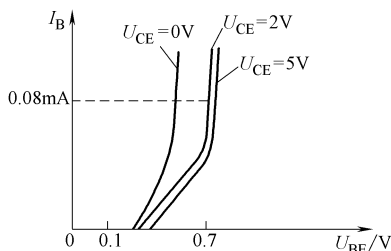


图 7-71 晶体管共发射极电路输入特性曲线



#### 重要提示

输入特性曲线与集电极和发射极之间直流电压  $U_{CE}$  大小有关，当  $U_{CE} = 0V$  时，曲线在最左侧，这说明有较小的发射结正向电压时，便能有基极电流。当  $U_{CE}$  大到一定程度后，对输入特性的影响就明显减小了。

#### 2. 晶体管输出特性曲线

如图 7-72 所示是晶体管共发射极电路输出特性曲线。晶体管的输出特性是在基极电流  $I_B$  大小一定时，输出电压  $U_{CE}$  与输出电流  $I_C$  之间的关系。从图中可以看出，在不同的  $I_B$  下，有不同的输出曲线。

图中， $X$  轴为  $U_{CE}$  大小， $Y$  轴为  $I_C$  大小。从这一图中还可以看出，晶体管的截止区、放大区、饱和区。不同型号晶体管有不同的输出特性曲线。

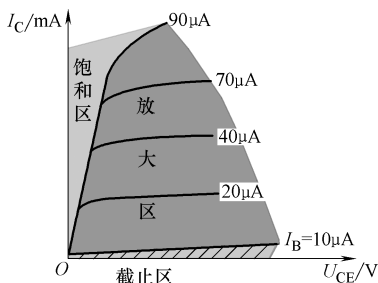


图 7-72 晶体管共发射极电路输出特性曲线



#### 重要提示

温度升高对晶体管特性的影响如下：

- 1) 输入特性曲线左移。
- 2)  $I_{CBO}$  增大，输出特性曲线上移。
- 3)  $\beta$  增大。

### ★7.3.13 晶体管基极电流与放大倍数之间特性曲线

#### 1. 晶体管基极电流与放大倍数之间特性（AGC）曲线



#### 重要提示

晶体管静态电流的大小影响晶体管的两个重要参数：晶体管的噪声和电流放大倍数。静态电流



大小与晶体管的噪声大小相关，静态电流大，噪声大，反之则小。

## 2. 普通晶体管基极电流与放大倍数 $\beta$ 之间关系曲线

静态电流大小还与晶体管的放大倍数相关，如图 7-73 所示是普通晶体管基极电流与放大倍数 $\beta$ 之间的关系曲线，从图中可以看到，在基极电流为某一值时，放大倍数 $\beta$ 为最大，基极电流大于或小于这一值时，放大倍数 $\beta$ 都要下降。不同型号的晶体管该特性曲线不同，但是很相似。

有两种 AGC 特性晶体管，即正向 AGC 特性晶体管和反向 AGC 特性晶体管。

## 3. 反向 AGC 特性晶体管特性曲线

如图 7-74 所示是反向 AGC 特性晶体管特性曲线，当基极电流为 $I_0$ 时晶体管的电流放大倍数 $\beta$ 为最大，小于 $I_0$ 时的曲线比较陡（斜率大），所以晶体管的静态工作电流要设置在 $I_1$ 处，如图所示，即要求小于 $I_0$ 。这样，当晶体管基极电流在减小时，晶体管的 $\beta$ 在减小，进行增益控制。

## 4. 正向 AGC 特性晶体管特性曲线

如图 7-75 所示是正向 AGC 特性晶体管特性曲线，当基极电流为 $I_0$ 时晶体管的电流放大倍数 $\beta$ 为最大，大于 $I_0$ 时的曲线比较陡（斜率大），所以晶体管的静态工作电流要设置在 $I_1$ 处，即要求大于 $I_0$ 。这样，晶体管基极电流在增大时，晶体管的 $\beta$ 在减小，进行增益控制。

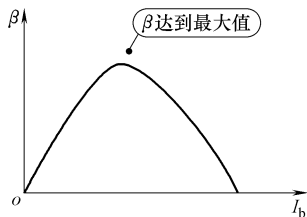


图 7-73 普通晶体管基极电流与放大倍数 $\beta$ 之间的关系曲线

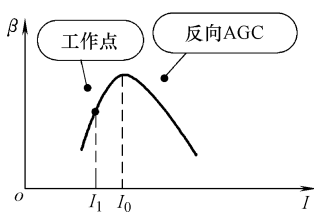


图 7-74 反向 AGC 特性晶体管特性曲线

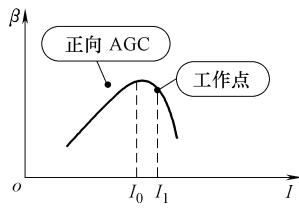


图 7-75 正向 AGC 特性晶体管特性曲线

### 重要提示

采用反向 AGC 电路时，当中频信号的幅度增大时，要求 AGC 管基极电流减小；采用正向 AGC 晶体管时，中频信号幅度在增大时，要求 AGC 管基极电流也在增大。

## ★7.3.14 光敏晶体管光照特性曲线

### 1. 光敏晶体管伏—安特性曲线

如图 7-76 所示是光敏晶体管伏—安特性曲线，它是在给定的光照度下光敏晶体管上的电压与光电流的关系。

### 2. 光敏晶体管光照特性曲线

如图 7-77 所示是光敏晶体管光照特性曲线，从曲线中可以看出，晶体管在照度较小时，光电

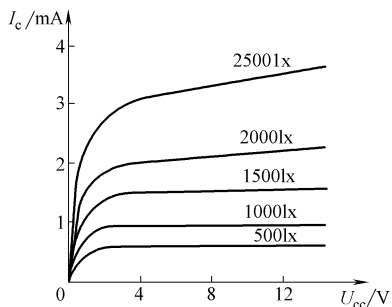


图 7-76 光敏晶体管伏—安特性曲线

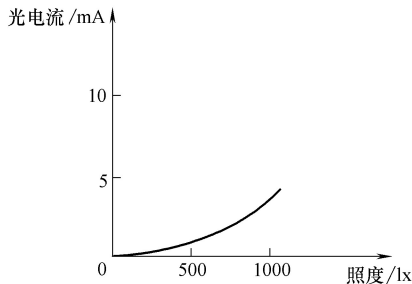


图 7-77 光敏晶体管光照特性曲线



流随照度增加较小，而在大电流（光照度为几千勒克斯）时出现饱和现象（图中未画出），因为晶体管的电流放大倍数在小电流和大电流时都要下降。

### ★7.3.15 低压差稳压器集成电路特性曲线

#### 1. 低压差稳压器集成电路负载调整率（Load Regulation）

如图 7-78 所示是负载调整率示意图，LDO 的负载调整率越小，说明 LDO 抑制负载干扰的能力越强。

$\Delta U_{\text{Load}}$  由下列公式决定：

$$\Delta U_{\text{Load}} = \frac{\Delta U}{U_o \times I_{\text{max}}} \times 100\%$$

式中， $\Delta U_{\text{Load}}$  为负载调整率； $I_{\text{max}}$  为 LDO 最大输出电流  $U_o$  为输出电流为 0.1mA 时，LDO 的输出电压； $\Delta U$  为负载电流分别为 0.1mA 和  $I_{\text{max}}$  时的输出电压之差。

#### 2. 低压差稳压器集成电路线性调整率（Line Regulation）

如图 7-79 所示是线性调整率示意图，LDO 的线性调整率越小，输入电压变化对输出电压影响越小，LDO 的性能越好。

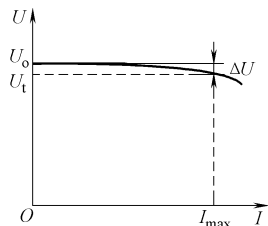


图 7-78 负载调整率示意图

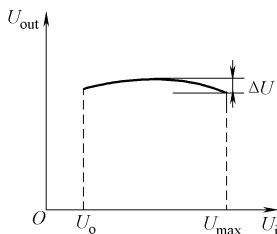


图 7-79 线性调整率示意图

LDO 线性调整率  $\Delta U_{\text{line}}$  由下列公式决定：

$$\Delta U_{\text{line}} = \frac{\Delta U}{U_o \times (U_{\text{max}} - U_o)} \times 100\%$$

式中， $\Delta U_{\text{line}}$  为 LDO 线性调整率； $U_o$  为 LDO 名义输出电压； $U_{\text{max}}$  为 LDO 最大输入电压； $\Delta U$  为 LDO 输入电压从  $U_o$  增大到  $U_{\text{max}}$  时输出电压最大值和最小值之差。

### ★7.3.16 普通晶闸管特性曲线

#### 1. 普通晶闸管伏安特性曲线

如图 7-80 是晶闸管的伏安特性曲线，分为正向和反向特性两部分。正向特性曲线是在控制极开路的情况下，电压、电流之间的关系特性曲线；反向特性曲线与普通二极管的反向特性相似，在反向电压加大到一定程度时，反向电流迅速增大。

正向特性曲线分成两部分：

1) 未导通的特性，正向电压在加到很大时，晶闸管的电流仍然很小。这相当于二极管的正向电压小于开启电压时的特性。

2) 导通后的特性，当正向电压大到正向转折电压时，曲线突然向左，而电流很快增大。导通后，晶闸管两端的

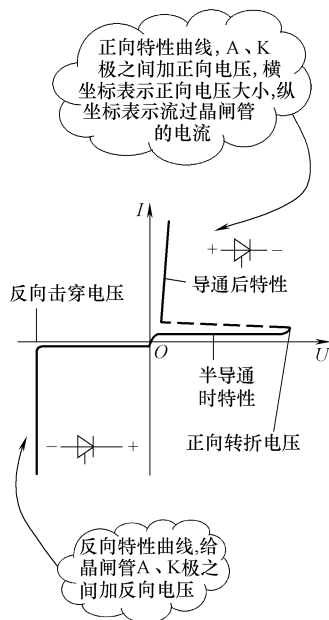


图 7-80 晶闸管的伏安特性曲线

压降很小, 约为  $0.6 \sim 1.2\text{V}$ , 电压稍有一些变化时, 电流变化很大, 这一特性曲线同二极管导通后伏安特性曲线相似。



#### 重要提示

从正向特性曲线上可以得知, 晶闸管在 G、K 极之间不加正向电压时, 晶闸管也能导通, 但是要在 A、K 极之间加上很大的正向电压才行。这种使晶闸管导通的方法在电路中是不允许的, 因为这样很可能造成晶闸管的不可逆的击穿, 损坏晶闸管。所以, 在使用中要避免这种情况的发生。

### 2. 普通晶闸管控制极电流对晶闸管正向转折电压影响的特性曲线

在晶闸管 G、K 极之间加上正向电压后, 晶闸管便容易导通, 如图 7-81 所示是控制极电流  $I_G$  对晶闸管正向转折电压影响的曲线。

## ★7.3.17 逆导晶闸管和双向晶闸管特性曲线

### 1. 逆导晶闸管伏—安特性曲线

如图 7-82 所示是逆导晶闸管伏—安特性曲线。逆导晶闸管伏—安特性具有不对称性, 正向特性与普通晶闸管相同, 实际上正向特性由逆导晶闸管内部的普通晶闸管正向特性决定。反向特性与硅整流管的正向特性相同, 这也是反向并联在普通晶闸管上的二极管正向特性。

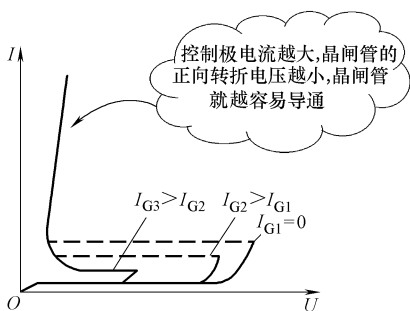


图 7-81 控制极电流  $I_G$  对晶闸管正向转折电压影响的曲线

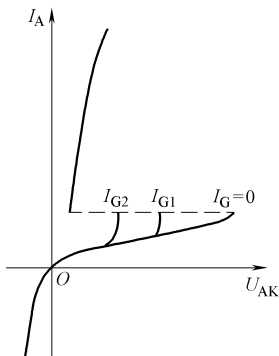


图 7-82 逆导晶闸管伏安—特性曲线

### 2. 双向晶闸管伏—安特性曲线

如图 7-83 所示是双向晶闸管伏—安特性曲线。从曲线中可以看出, 第一和第三象限内具有基本相同转换性能。双向晶闸管工作时, 它的  $T_1$  极和  $T_2$  极间加正(负)压, 若控制极无电压, 只要阳极电压低于转折电压, 它就不会导通, 处于阻断状态。若控制极加一定的正(负)压, 则双向晶闸管在阳极和阴极间电压小于转折电压时被控制极触发导通。

## ★7.3.18 场效应晶体管特性曲线

### 1. 场效应晶体管转移特性曲线

如图 7-84 所示是场效应晶体管的转移特性曲线, 它用来说明 G、S 极之间电压  $U_{GS}$  对漏极电流  $I_D$  控制的特性曲线。横轴表示栅、源极之间的电压  $U_{GS}$  大小, 纵坐标表示漏极电流  $I_D$  的大小。

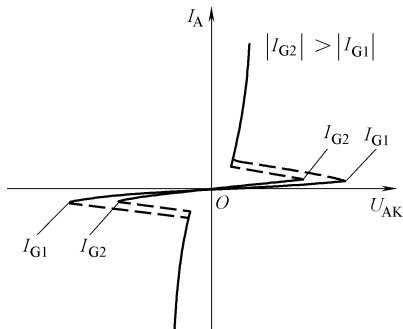


图 7-83 双向晶闸管伏—安特性曲线

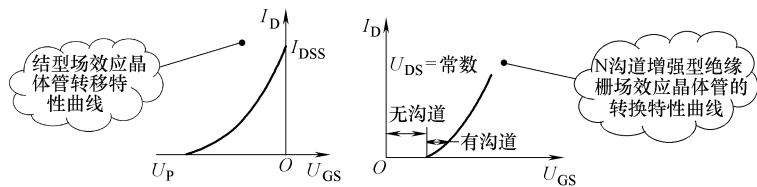


图 7-84 场效应晶体管的转移特性曲线

表 7-15 是各类型场效应晶体管转移特性曲线示意图。对于结型场效应晶体管的转移特性曲线而言,由于栅源之间应反偏,所以对 N 沟道只能在第二象限,对 P 沟道只能在第四象限。

表 7-15 各类型场效应晶体管转移特性曲线

| 沟道    |     | P | N |
|-------|-----|---|---|
| 类型    |     |   |   |
| 结型耗尽型 |     |   |   |
| 绝缘栅型  | 耗尽型 |   |   |
|       | 增强型 |   |   |

对于增强型 MOSFET 的转移特性曲线,当  $U_{GS} = 0$  时,  $I_D = 0$ ,只有达到开启电压以后才出现  $I_D$ 。只不过 N 沟道增强型 MOSFET 的转移特性曲线在第一象限,开启电压为正;P 沟道增强型 MOSFET 的转移特性曲线在第三象限,开启电压为负。

对耗尽型 MOSFET,它的转移特性曲线可以处于两个象限,因为当  $U_{GS} = 0$  时,已经有较大的漏极电流  $I_{DSS}$  了。

对于 N 沟道耗尽型 MOSFET,它的转移特性曲线在第一第二象限,夹断电压为负;P 沟道耗尽型 MOSFET,它的转移特性曲线在第三第四象限,夹断电压为正。

## 2. 场效应晶体管漏极特性曲线

如图 7-85 所示是场效应晶体管漏极特性曲线,它与晶体管的输出特性曲线相似。电压  $U_{GS}$  一定时,漏极电流  $I_D$  会随漏、源极之间电压  $U_{DS}$  变化而改变,这一特性称为漏极特性。图中,横坐标表示漏、源极之间电压  $U_{DS}$ ,纵坐标表示漏电流  $I_D$ 。

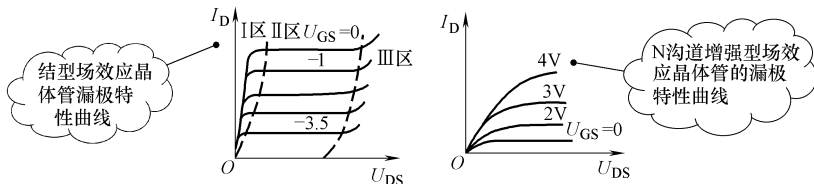


图 7-85 场效应晶体管漏极特性曲线

## ★7.3.19 电子管特性曲线

### 1. 电子管屏极特性曲线

屏极特性曲线是指栅极直流电压为某一确定值情况下,屏极电流与屏极电压之间的变化关系特

性曲线。在不同的栅极电压下，便有一条与此相对应的屏极电流与屏极电压之间的变化关系特性曲线，所以许多条屏极特性曲线形成了屏极特性曲线族，如图 7-86 所示是某电子管屏极特性曲线。

从曲线中可以看出，曲线比较平坦，这说明屏极电压对屏极电流的控制能力是比较差的。

## 2. 电子管屏栅特性曲线

电子管屏栅特性曲线是指屏极直流电压为一定值时，屏极电流与栅极电压之间的变化关系特性曲线。不同的屏极直流电压值下，有与之相对应的屏栅特性曲线，它也是屏栅特性曲线族，如图 7-87 所示是电子管屏栅特性曲线。

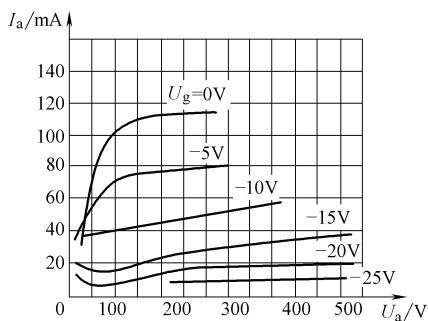


图 7-86 电子管屏栅特性曲线

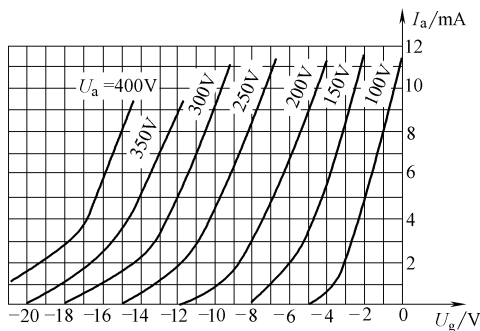


图 7-87 电子管屏栅特性曲线

## ★7.3.20 显像管、石英晶体振荡器、声表面波滤波器和陶瓷滤波器特性曲线

### 1. 显像管调制特性曲线

如图 7-88 所示是显像管调制特性曲线，纵坐标是阴极电子束电流强度，横坐标是控制极与阴级之间的负电压。

显像管正常工作时，要求控制极上的电压低于阴极上的电压，或者说是阴极上的电压要高于控制极上的电压。从曲线中可以看出，当阴极上的电压越高时，电子束的电流越小，反之则大。

当阴极电压比控制极电压高到一定程度时，电子束的电流为零，这时阴极不能发射电子，无光栅。

在修理中会遇到这样情况，造成的无光栅故障，即显像管阴极电压太高引起的无光栅故障。

显像管工作过程中，如果阴极电压低于控制极电压，此时电子束电流很大而会有烧坏阴极的危险，这是不允许的。

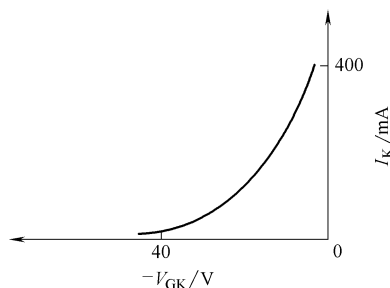


图 7-88 显像管调制特性曲线

### 2. 石英晶振电抗特性曲线

如图 7-89 所示是石英晶振电抗特性曲线。电抗特性中， $f_s$  为串联谐振频率点， $f_p$  为并联谐振频率点。石英晶体振荡器的振荡频率既可近似工作于  $f_s$  处，也可工作在  $f_p$  附近，因此石英晶体振荡器可分串联型和并联型两种电路。

### 3. 陶瓷滤波器频率特性曲线

如图 7-90 所示是某陶瓷滤波器频率特性曲线，从曲线中可以看到，该陶瓷滤波器的标称中心频率为 5500MHz。

### 4. 声表面波滤波器频率特性曲线

如图 7-91 所示是某型号声表面波滤波器频率特性曲线。

现在彩色电视机中广泛采用声表面波滤波器，它的特点如下：

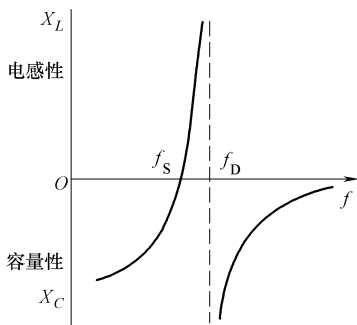


图 7-89 石英晶振电抗特性曲线





1) 插入损耗大。即使在声表面波滤波器的工作频率范围内,信号从输入端传输到输出端会产生很大的损耗,这是这种滤波器的缺点。

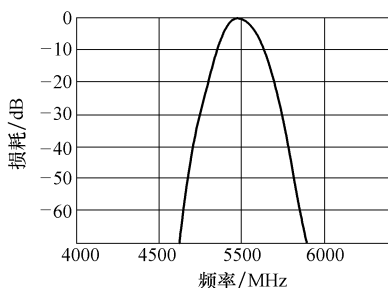


图 7-90 某陶瓷滤波器频率特性曲线

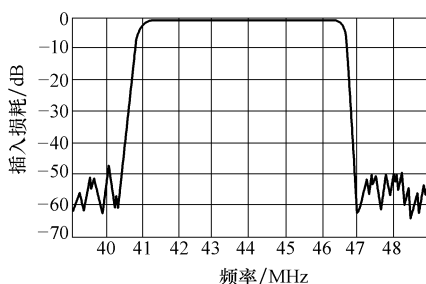


图 7-91 某型号声表面波滤波器频率特性曲线

2) 输入、输出回路的阻抗匹配不当会引起不良后果。声表面波滤波器接在中频前置放大器(或高频头)与中频放大器输入级电路之间,它们之间的阻抗要良好匹配,所以一般声表面波滤波器的输入和输出回路中设有电阻、电容、电感构成的阻抗匹配电路。

3) 选择性好。声表面波滤波器的选择性好有利于提高图像和伴音的质量,减小干扰。

4) 稳定性和可靠性好。

### ★7.3.21 动圈式传声器和硅光电池特性曲线

#### 1. 动圈式传声器指向特性曲线

如图 7-92 所示是某型号动圈式传声器指向特性曲线,这是半指向特性,它的灵敏度在一个方向最大。

如图 7-93 所示是双指向和全指向特性曲线。双指向是在两个方向灵敏度最强,全指向就是指无方向性,即各个方向的灵敏度一样。

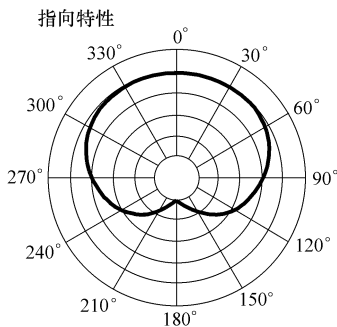


图 7-92 动圈式传声器指向特性曲线

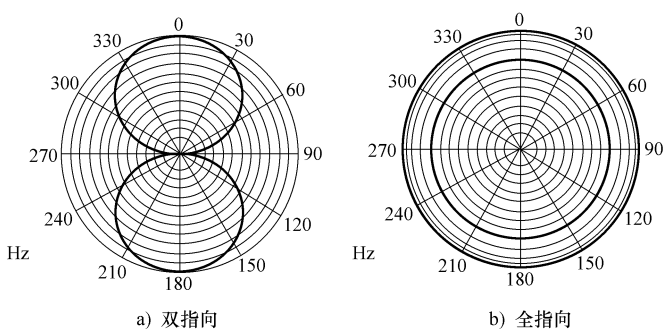


图 7-93 双指向和全指向特性曲线

#### 2. 动圈式传声器频率特性曲线

如图 7-94 所示是某型号动圈式传声器频率特性曲线。

#### 3. 硅光电池光照特性曲线

如图 7-95 所示是硅光电池光照特性曲线,光电池所产生的电动势与光照的强度有密切的关系,这组曲线表示了硅光电池的开路电压与短路电流和光照强度的关系。

硅光电池的开路电压与光照强度是一种非线性关系,当光照强度在 200lx 时就趋向饱和。

短路电流在很大的范围内与光照成线性关系。

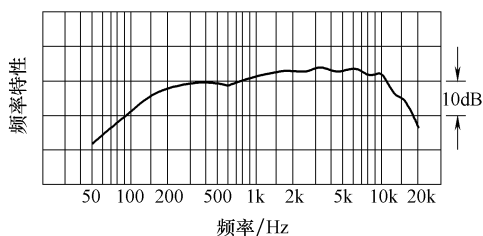


图 7-94 动圈式传声器频率特性曲线

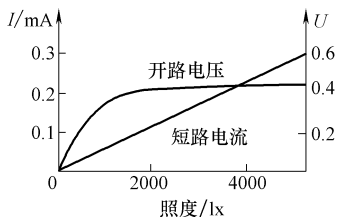


图 7-95 硅光电池光照特性曲线

### 重要提示

这里所说的短路电流与开路电压与平时意义上不同，它是指外负载电阻相对内阻非常小时电流值，以及外负载很大时的端电压。

#### 4. 硅光电池光谱特性曲线

硅光电池对不同的波长的光灵敏度是不同的，如图 7-96 所示是硅光电池光谱特性曲线，硅光电池的光谱响应范围是波长  $4000 \sim 12000 \text{Å}^\ominus$ ，在波长为  $8000 \text{Å}$  时达到峰值。

### ★7.3.22 散热片和聚合开关特性曲线

#### 1. 散热板式散热片热阻特性曲线

散热片本身也具有热阻，其热阻越小散热效果越好。对于散热板式散热片的热阻不仅与散热板的面积有关，还与散板的厚度有关，并且与散热板放置方式有关，如图 7-97 所示是散热板式散热片热阻特性曲线，这一曲线可以说明散热板面积与放置方式之间的关系。

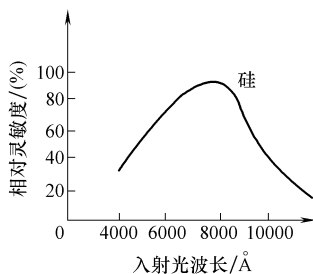


图 7-96 硅光电池光谱特性曲线

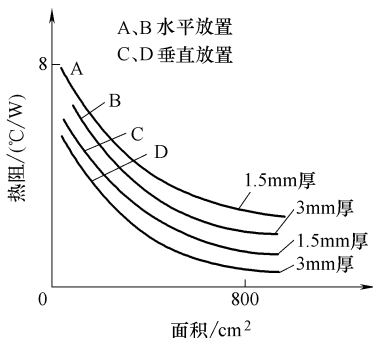


图 7-97 散热板式散热片热阻特性曲线

#### 2. 散热型材式散热片特性曲线

如图 7-98 所示是散热型材式散热片的热阻特性曲线，从图中可以看出，当散热型材的包络体积增大时，可有效地降低散热片的热阻。

#### 3. 功放集成电路允许功耗曲线

如图 7-99 所示是某型号功放集成电路在加不同散热片时的允许功耗曲线。从这一曲线中可以看出，当不给这一集成电路加散热片时的最大允许功耗约为  $2 \text{W}$ ，而在加了  $100 \text{mm} \times 100 \text{mm} \times 2 \text{mm}$  的散热片后，其最大允许功耗可达到  $10 \text{W}$  以上，这就充分说明了散热片在功放晶体管和功放集成电路中的“积极”作用。

#### 4. 聚合开关的温度—阻抗特性曲线

如图 7-100 所示是聚合开关的温度—阻抗特性曲线，从曲线中可以看出，当温度达到一定值

$\ominus$  非标准单位， $1 \text{Å} = 10^{-10} \text{m}$ 。

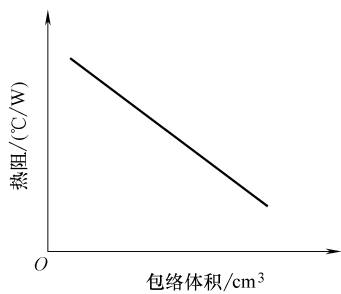


图 7-98 散热型材式散热片的热阻特性曲线

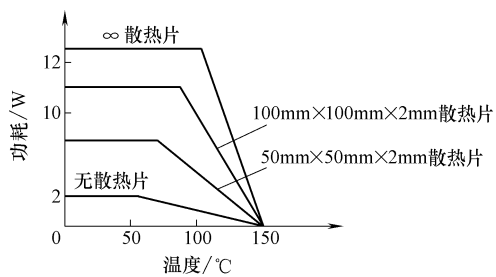


图 7-99 某型号功放集成电路在加不同散热片时的允许功耗曲线

后，聚合开关的阻抗迅速增大。聚合开关动作前与动作后的阻抗之差达几个数量级。

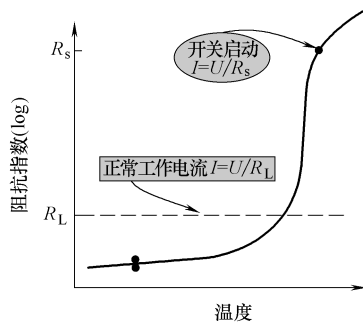


图 7-100 聚合开关的温度—阻抗特性曲线

阅读完成时间：\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日，用时\_\_\_\_天。

签 名：\_\_\_\_\_

阅读体会：（请写 10 个收获最大的知识点关键词）

阅读困惑：（请写 10 个最难理解的知识点关键词）



第8章

# 百种元器件参数识别和引脚极性识别方法

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日  
本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！

## 8.1 百十种元器件参数表示形式和识别方法

本节阅读建议：重点阅读，全面掌握诸多元器件参数表示形式和识别方法，必须学会识别方法，可以采用边看书边用实物进行对照学习的方式。

本节难度系数：3 级。

本节记忆系数：8 级。

重要提示

电子元器件的标称值会有多种方式标注出来，掌握这些标注方式才能识别这些元器件的参数。

### ★8.1.1 四环电阻器色环表示方法和识别方法

重要提示

电子电路中的电阻器参数主要有色标法、字母数字混标法、3 位数和 4 位数表示数和直标法几种，主要采用色标法、3 位数和 4 位数表示法，因为所用电阻器的功率多为 1/8W、1/16W，体积很小，只能采用色标法、3 位数和 4 位数表示法。

#### 1. 四环电阻器

如图 8-1 所示是四环电阻器标注示意图。从四环色环电阻器色环位置示意图中可以看出，这四条色环表示了不同的含义，第 1、2 条分别为第 1、2 位有效数色环（有效数为两位），第 3 条为倍乘色环或是有效数有几个 0 的色环），第 4 条为允许误差等级色环。

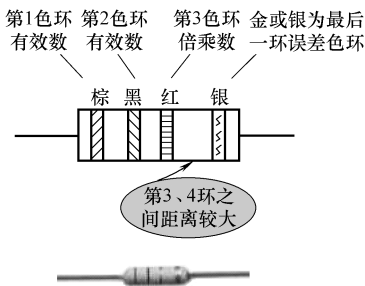


图 8-1 四环电阻器标注示意图

### 识别方法提示

- 1) 从图中可以看出, 第3环与第4环之间的距离比较远, 这样可以确定哪环是第1色环, 哪是第4色环。
- 2) 色标法中用色环的颜色来表示某个特定的数字或倍乘、允许偏差等级, 整个色码的颜色共有12种和一个本色(电阻器本身的颜色)。
- 3) 标称阻值单位为 $\Omega$ 。
- 4) 当允许误差等级为 $\pm 20\%$ 时, 表示允许误差的这条色环为电阻器本色, 此时4条色环电阻器只有3条。

## 2. 四色点电阻器

如图8-2所示是四个色点的电阻器示意图, 它的含义同4条色环电阻器是一样的, 只是用色点来代替色环, 这种表示方法目前已经不常见到。

## 3. 4色环电阻中色码具体含义

如图8-3所示是4色环电阻中色码的具体含义解读示意图。

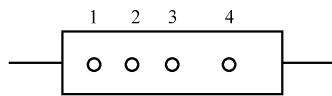


图 8-2 四个色点的电阻器示意图

| 色环颜色 | 第1色码<br>(第1位有效数) | 第2色码<br>(第2位有效数) | 第3色码<br>(倍乘数)                         | 第4色码<br>(误差等级) |
|------|------------------|------------------|---------------------------------------|----------------|
| 黑    | 0                | 0                | $\times 10^0$ , 或 $\times 1\Omega$    | —              |
| 棕    | 1                | 1                | $\times 10^1$ , 或 $\times 10\Omega$   | —              |
| 红    | 2                | 2                | $\times 10^2$ , 或 $\times 100\Omega$  | —              |
| 橙    | 3                | 3                | $\times 10^3$ , 或 $\times 1k\Omega$   | —              |
| 黄    | 4                | 4                | $\times 10^4$ , 或 $\times 10k\Omega$  | —              |
| 绿    | 5                | 5                | $\times 10^5$ , 或 $\times 100k\Omega$ | —              |
| 蓝    | 6                | 6                | $\times 10^6$ , 或 $\times 1M\Omega$   | —              |
| 紫    | 7                | 7                | $\times 10^7$ , 或 $\times 10M\Omega$  | —              |
| 灰    | 8                | 8                | $\times 10^8$ , 或 $\times 100M\Omega$ | —              |
| 白    | 9                | 9                | $\times 10^9$ , 或 $\times 1G\Omega$   | —              |
| 金    |                  |                  |                                       | $\pm 5\%$      |
| 银    |                  |                  |                                       | $\pm 10\%$     |
| 本色   |                  |                  |                                       | $\pm 20\%$     |

图 8-3 4色环电阻中色码的具体含义解读示意图

### 四环电阻器识别绝招提示

有的色标电阻器中的4条色环会均匀分布在电阻器上, 这时确定色环顺序的绝招是: 如图8-4所示, 根据色码表可知, 金色、银色色码在有效数中无具体含义, 而只在允许中表示具体偏差值, 所以金色或银色这一环必定为最后一条色环, 根据这一点可以分辨各色环的顺序。

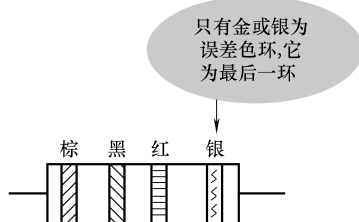


图 8-4 示意图

## 4. 举例说明

如图8-5所示是四色环电阻器, 最右端为银色的色环, 说明这是最后一条色环, 这样这一电阻





器的色环顺序为棕、黑、红和银。查表可以知道，棕和黑分别表示 1 和 0，这样有效数是 10。红色表示 2，倍乘为 2，即  $\pm 10^2$ ，银色表示  $\pm 10\%$ 。

所以，这一色环电阻器的参数为  $10 \times 10^2 \Omega$ ，为  $1000 \Omega = 1 \text{k}\Omega$ ，误差为  $\pm 10\%$ 。

如图 8-6 所示是另一种四色环电阻器，最左端是银色的色环，这是误差色环，所以第 1 条色环为绿，依次为棕、金和银，经查表可知，这是一个  $51 \times 10^{-1} = 5.1 \Omega$  的电阻器，其误差为  $\pm 10\%$ 。

如图 8-7 所示是部分四环电阻器识别示意图。

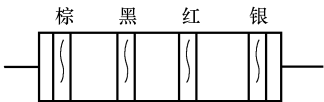


图 8-5 示意图

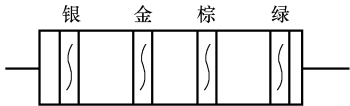


图 8-6 示意图

★8.1.2 五环电阻器色环表示方法和识别方法

1. 五环电阻器

如图 8-8 所示是五环电阻器标注示意图。从 5 条色环色标电阻器示意图中可以看出，第 1、2、3 条分别表示 3 位有效数（精密电阻器用 3 位有效数表示），第 4 条为倍乘色环（有效数有几个 0 的色环），第 5 条为允许误差等级色环。

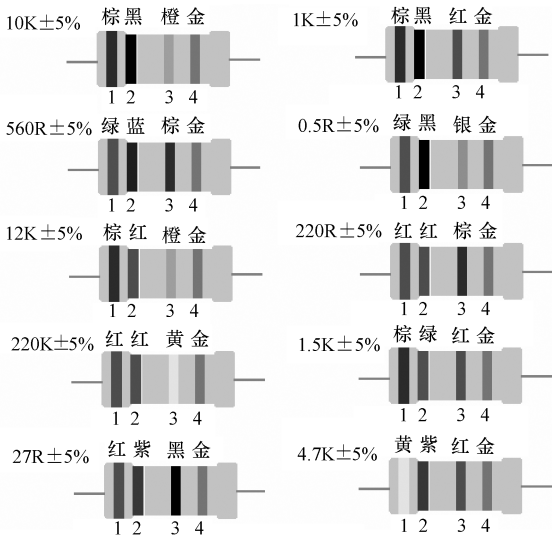


图 8-7 部分四环电阻器识别示意图

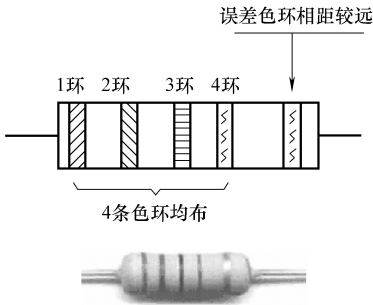


图 8-8 五环电阻器标注示意图



方法提示

从图中可以看出，第四环与第五环之间的距离比较远，这样可以确定哪环是第 1 色环，哪是第 5 色环。

四环和五环电阻器识别方法的根本区别就是前者只有 2 位有效数，后者则有 3 位有效数。

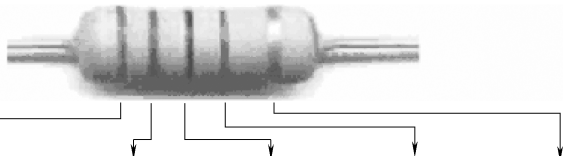
2. 五色环电阻中色码具体含义

5 条色环色标电阻器多为精密电阻器。色标法中用色环的颜色表示 0~9。

如图 8-9 所示是五色环电阻中色码的具体含义解读示意图。

★8.1.3 第五条色环为黑色色环电阻器识别方法

当一个色环电阻器为 5 条色环，且第五条色环为黑色时，它虽然有 5 条色环，但是它的第五条黑色的色环一般用来表示该电阻器是绕线电阻器，这种五环电阻器本质是四环电阻器，因为在五环

| 色环颜色 | 第1色环<br>第1位数字 | 第2色环<br>第2位数字 | 第3色环<br>第3位数字 | 第4色环<br>倍乘                               | 第5色环<br>误差范围 |
|------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------------|--------------|
| 黑    | 0             | 0             | 0             | $\times 10^0$ , 或 $\times 1\Omega$       | —            |
| 棕    | 1             | 1             | 1             | $\times 10^1$ , 或 $\times 10\Omega$      | $\pm 1\%$    |
| 红    | 2             | 2             | 2             | $\times 10^2$ , 或 $\times 100\Omega$     | $\pm 2\%$    |
| 橙    | 3             | 3             | 3             | $\times 10^3$ , 或 $\times 1k\Omega$      | —            |
| 黄    | 4             | 4             | 4             | $\times 10^4$ , 或 $\times 10k\Omega$     | —            |
| 绿    | 5             | 5             | 5             | $\times 10^5$ , 或 $\times 100k\Omega$    | $\pm 0.5\%$  |
| 蓝    | 6             | 6             | 6             | $\times 10^6$ , 或 $\times 1M\Omega$      | $\pm 0.25\%$ |
| 紫    | 7             | 7             | 7             | $\times 10^7$ , 或 $\times 10M\Omega$     | $\pm 0.1\%$  |
| 灰    | 8             | 8             | 8             | $\times 10^8$ , 或 $\times 100M\Omega$    | —            |
| 白    | 9             | 9             | 9             |                                          | —            |
| 金    | —             | —             | —             | $\times 10^{-1}$ , 或 $\times 0.1\Omega$  | —            |
| 银    | —             | —             | —             | $\times 10^{-2}$ , 或 $\times 0.01\Omega$ | —            |

图 8-9 五色环电阻中色码的具体含义解读示意图

电阻器中第五条黑色没有含义,此时前4条色环按四环电阻器进行标称阻值和误差的识别,如图8-10所示。

#### ★8.1.4 第五条色环为白色色环电阻器识别方法

当一个色环电阻器为5条色环,且第五条色环为白色时,它虽然有5条色环,但是它的第五条白色的色环一般用来表示该电阻器是熔断电阻器,这种五环电阻器本质是四环电阻器,因为在五环电阻器中第五条白色没有含义,此时前4条色环按四环电阻器进行标称阻值和误差的识别,如图8-11所示。

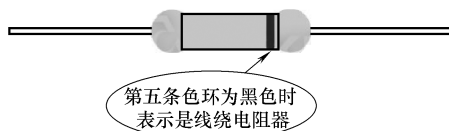


图 8-10 绕线电阻器色标表示法

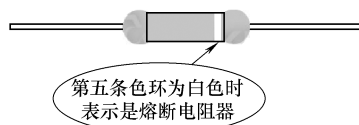


图 8-11 熔断电阻器色标表示法



#### 重要提示

熔断电阻器还有用一条色环表示的,色环位于电阻器的一端位置上。在福日、金星和日立彩电中较为常见的一色环熔断电阻器如下。

- 1) RN 1/4W、色环为黑色。阻值  $10\Omega$ , 当 8.5V 直流电压加在其上时, 1min 之内阻值增大为初始值的 50 倍以上。
- 2) RN 1/4W、色环为红色。阻值  $2.2\Omega$ , 当 3.5A 电流通过时, 2s 内电阻值增大为初始值的 50 倍以上。
- 3) RN 1/4W、色环为白色。当有 2.8A 交流电流通过时, 10s 内阻值增大为初始值的 400 倍以上。

#### ★8.1.5 一条黑色色环电阻器识别方法

当一个色环电阻器只有一条位于中间位置的黑色色环时,表示该电阻器为  $0\Omega$  电阻器,即跨导,如图8-12所示。

### ★8.1.6 六条色环电阻器色环识别方法

当色环电阻器为6环时，它的前5条色环构成一个5环色环电阻器，其识别的方法和各色环的含义与五环色环电阻器相同。它的第6条色环为温度系数色环，表示了该电阻器的温度系数参数，如图8-13所示是六环色环电阻器示意图。

表8-1是温度系数色环颜色的含义。

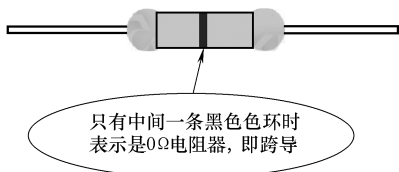


图 8-12 0Ω 电阻器表示方法

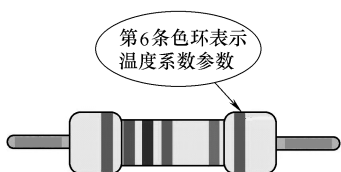


图 8-13 六环色环电阻器示意图

表 8-1 温度系数色环颜色的含义

| 颜色 | 温度系数(×10 <sup>-6</sup> ) |
|----|--------------------------|
| 棕  | 100                      |
| 红  | 50                       |
| 黄  | 25                       |
| 橙  | 15                       |
| 蓝  | 10                       |
| 白  | 1                        |

### ★8.1.7 电阻器参数直标法和字母数字混标法

#### 1. 电阻器参数直标法

如图8-14所示是直标法电阻器示意图。直标法主要用于体积较大（功率大）的电阻器上，它将标称阻值和允许偏差直接用数字标在电阻器身上。例如，在某电阻器身上标出1kΩ，允许偏差为±10%，显然这种表示方式方便了识别。

#### 2. 电阻器参数字母数字混标法

在直标法中，5.7kΩ的电阻器，若在印刷或使用中将小数点漏掉，这样5.7kΩ的电阻会变成57kΩ电阻。为此，可采用字母数字混标法来解决这一问题，将5.7kΩ电阻标注成5k7，用k来表示小数点。

这里的k是借用的词头符号。电阻器的这种表示方法不常见到。如表8-2所示给出字母数字混标法电阻器的一些例子。

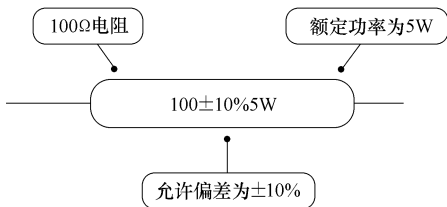


图 8-14 直标法电阻器示意图

表 8-2 字母数字混标法电阻器举例

| 标称阻值  | 表示方式 | 标称阻值               | 表示方式 |
|-------|------|--------------------|------|
| 0.1Ω  | R10  | 3.3kΩ              | 3k3  |
| 0.12Ω | R12  | 3.9MΩ              | 3M9  |
| 0.59Ω | R59  | 1000MΩ             | 1G   |
| 1Ω    | 1R0  | 3300MΩ             | 3G3  |
| 1.5Ω  | 1R5  | 10 <sup>6</sup> MΩ | 1T   |
| 1kΩ   | 1k   |                    |      |

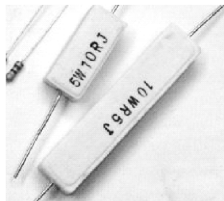


图 8-15 举例示意图

如图8-15所示是直标法电阻器实物示意图，从图中可看出，一只为10Ω电阻，另一只为0.5Ω电阻。

### ★8.1.8 电阻器参数三位数和四位数表示法

#### 1. 三位数表示方法

如图8-16所示是贴片电阻器实物示意图，由于它体积非常小，没有引脚（只有两端的焊盘），采用三位数表示方法。

图中贴片电阻器上标出103三个数字，它表示10×10<sup>3</sup>Ω=10kΩ。

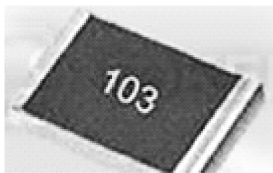


图 8-16 贴片电阻器实物示意图



### 重要提示

在三位数表示法中，前两位为有效数，第三位是有效数后有几个零，单位是欧。

## 2. 四位数表示方法

如图 8-17 所示四位数表示方法（精密电阻）示意图。

四位数表示方法中前三位表示有效数字，第四位表示有多少个零，单位是  $\Omega$ ， $1502 = 150 \times 10^2 \Omega = 15000 \Omega = 15k\Omega$ 。



图 8-17 四位数表示方法示意图

## ★8.1.9 电阻器误差表示法

### 1. 电阻器误差三种表示法

电阻器中的误差表示有三种方式。

- 1) 直接用%表示。
- 2) 用字母来表示。如表 8-3 所示是电阻器误差字母的具体含义。

表 8-3 电阻器误差字母的具体含义

| 误差字母       | A    | B   | C    | D   | F | G | J | K  | M  |
|------------|------|-----|------|-----|---|---|---|----|----|
| 误差 $\pm$ % | 0.05 | 0.1 | 0.25 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 |

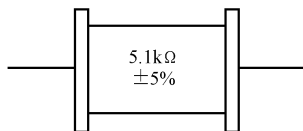
- 3) 用 I、II、III 表示。I 表示  $\pm 5\%$ 、II 表示  $\pm 10\%$ 、III 表示  $\pm 20\%$ 。

### 2. 举例说明

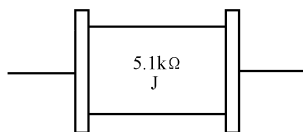
如图 8-18 所示是两种误差表示方式的电阻器示意图。

### 3. 实用电路中电阻器参数识别方法

如图 8-19 所示，电路中的  $R_1$  和  $R_2$  均在电路图中标出了标称值。



a) 误差为  $\pm 5\%$



b) J 表示误差为  $\pm 5\%$

图 8-18 两种误差表示方式的电阻器示意图

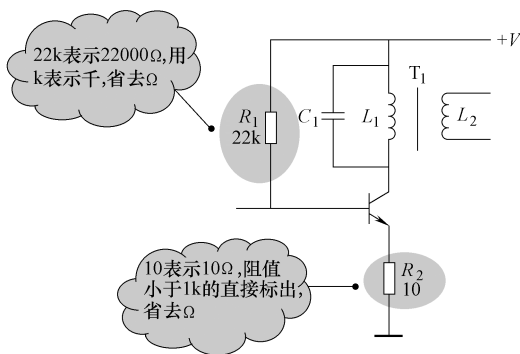


图 8-19 示意图



### 重要提示

电阻器电路图中的标称参数标注注意一点：当不标出  $\Omega$ （欧姆）单位时，标注值是  $\Omega$ ，如图中的 10 即为  $10\Omega$ 。

在一些讲解电路工作原理的电路图中也可以不标出电阻器的标称阻值。

## ★8.1.10 可变电阻器和电位器标注方式

### 1. 可变电阻器标注方式

可变电阻器的标称阻值是它两根固定引脚之间的阻值。

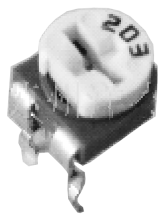
可变电阻器采用直标法表示标称阻值，即直接将标称阻值标注在可变电阻器上，在大电流应用的场合，可变电阻器还同时标注出额定功率参数。此外小型可变电阻器的标注阻值采用三位数表示方法，如图 8-20 所示，这与电阻器的标注方法一样。

图中，203 表示是  $20 \times 10^3 \Omega = 20000 \Omega = 20k\Omega$ 。

2. 电位器参数识别方法

电位器因为体积比较大，其参数表示方法通常采用直标法，通常将标称阻值及允许偏差、额定功率和类型标注在电位器的外壳上，一些小型电位器上只标出标称阻值。

举例说明：某电位器外壳上标出 51k - 0.25/X，其中“51k”表示标称阻值为 51kΩ，“0.25”表示额定功率为 0.25W，“X”表示是 X 型电位器。



三位数表示

图 8-20 可变电阻器三位数表示阻值示意图

★8.1.11 电容器参数直标法和字母数字混标法

重要提示

电容器的标注参数主要有标称电容量、允许偏差和额定电压等。

固定电容器的参数表示方法有多种，主要有直标法、色标法、字母数字混标法、三位数表示法和四位数表示法多种。

1. 电容器参数直标法

直标法在电容器中应用最广泛，在电容器上用数字直接标注出标称电容量、耐压（额定电压）等。

例如：如图 8-21 所示某电容器上标有 510p ± 10%、160V、CL12 字样，表示这一电容器是涤纶（CL）电容器，标称电容量为 510pF，允许偏差为 ± 10%，额定电压为 160V。

如图 8-22 所示是采用直标法的电容器实物示意图，它是一只 8μF、直流工作电压 400V 的电容器。

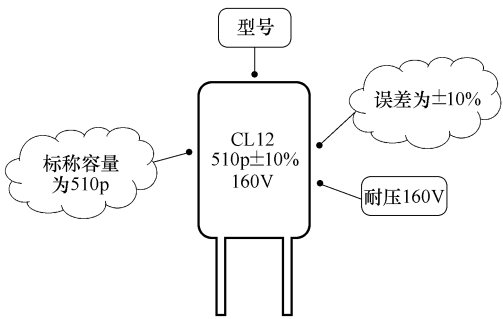


图 8-21 示意图



图 8-22 采用直标法的电容器实物示意图

2. 电容器标称容量字母数字混标法

电容器的字母数字混标法同电阻器的这一表示方法相同，如表 8-4 所示列举了一些例子说明这种表示方式。

表 8-4 举例说明

| 表示方式     | 标称电容量  | 表示方式      | 标称电容量   |
|----------|--------|-----------|---------|
| p1 或 p10 | 0.1pF  | μ33 或 R33 | 0.33μF  |
| 1p0      | 1pF    | 5μ9       | 5.9μF   |
| 5p9      | 5.9pF  | 1m        | 1000μF  |
| 3n3      | 3300pF | 10n       | 10000pF |





重要提示

有一个特殊情况，即  $0.33\mu\text{F}$  电容表示成 R33，凡零点几  $\mu\text{F}$  电容器，可在数字前加上 R 来表示。

在字母数字混标法中，n、m、p 都是词头符号，如表 8-5 所示给出了这些词头符号的含义，它们适用于各种电子元器件标注。

表 8-5 词头符号的含义

| 词头符号 | 名称 | 表示数       | 词头符号  | 名称 | 表示数        |
|------|----|-----------|-------|----|------------|
| E    | 艾  | $10^{18}$ | d     | 分  | $10^{-1}$  |
| P    | 拍  | $10^{15}$ | c     | 厘  | $10^{-2}$  |
| T    | 太  | $10^{12}$ | m     | 毫  | $10^{-3}$  |
| G    | 吉  | $10^9$    | $\mu$ | 微  | $10^{-6}$  |
| M    | 兆  | $10^6$    | n     | 纳  | $10^{-9}$  |
| k    | 千  | $10^3$    | p     | 皮  | $10^{-12}$ |
| h    | 百  | $10^2$    | f     | 飞  | $10^{-15}$ |
| da   | 十  | $10^1$    | a     | 阿  | $10^{-18}$ |

★8.1.12 电容器三位数表示法、四位数表示法和色标法

1. 电容器三位数表示法



重要提示

电容器三位数表示法中，用 3 位整数来表示电容器的标称电容量，再用一个字母来表示允许偏差。

在一些体积较小的电容器中普遍采用三位数表示法，因为电容器体积小，采用直标法标出的参数字太小，容易看不清和被磨掉。

如图 8-23 所示是电容器三位数表示法示意图。

3 位数字中，前两位数表示有效数，第 3 位数表示倍乘，即表示是 10 的  $n$  次方，或是有效数后有几个 0。在 3 位数表示法中的标称电容量单位是  $\text{pF}$ 。

举例说明：图中所示电容器的三位数是 102，它的具体含义为  $10 \times 10^2 \text{pF}$ ，即标称容量为  $1000\text{pF}$ 。图中另一只电容器的三位数是 474，它的具体含义为  $47 \times 10^4 \text{pF}$ ，即标称容量为  $470000\text{pF}$ ，即为  $0.47\mu\text{F}$ 。K 是该电容器的误差标注，字母 K 表示  $\pm 10\%$  误差。

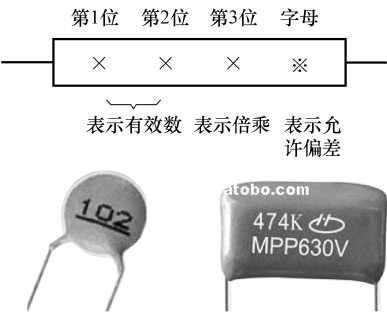


图 8-23 电容器三位数表示法示意图

2. 电容器四位数表示法

电容器的四位数表示法有下列两种情况。

1) 用 4 位整数来表示标称容量，此时电容器的容量单位是  $\text{pF}$ 。例如：某只电容器上标出 6800 四个数字，这是采用四位数表示法的电容器，是 4 位整数，所以电容单位是  $\text{pF}$ ，这一电容器的标称容量是  $6800\text{pF}$ ，如图 8-24 所示是实物示意图。

2) 用小数（有时不足 4 位数字）来表示标称容量，此时电容器的容量单位为  $\mu\text{F}$ 。如图 8-25 所示是电容器的不足 4 位数表示法示意图，例如：某只电容器上标出 0.47 小数，这也是 4 位数表示法中的一种，由于此时为小数，所以标称容量的单位是  $\mu\text{F}$ ，即这一电容器的标称为容量是  $0.47\mu\text{F}$ 。

3. 电容器标称容量色标法

采用色标法的电容器又称色码电容，色码表示的是电容器标称容量。色标法电容器的具体表示方式同三位数或是四位数表示法相同，只是用色码的不同颜色来表示各位数字。

如图 8-26 所示是 3 条色标法电容器示意图。见图中所示，电容器上有 3 条色带，3 条色带分别表示了 3 个色码。色码的读码方向是：从顶部向引脚方向读，对这个电容器而言是棕、绿、黄依次为第 1、2、3 个色码。

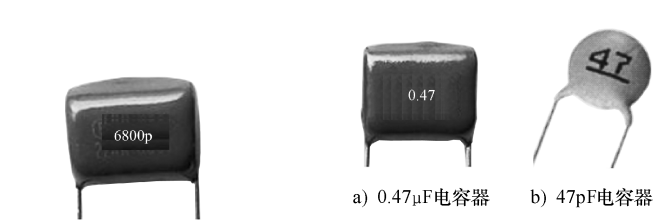


图 8-24 四位数表示方法

图 8-25 不足 4 位数表示法

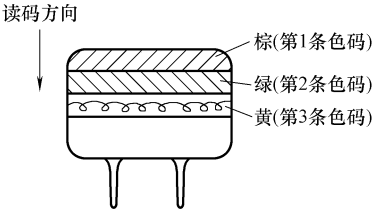


图 8-26 3 条色标法电容器示意图

在这种表示法中，第 1、2 条色码表示有效数，第 3 个色码表示倍乘中 10 的  $n$  次方，也就是有几个 0，容量单位为 pF。如表 8-6 所示是各色码的具体含义。

表 8-6 各色码具体含义

| 色码颜色 | 黑色 | 棕色 | 红色 | 橙色 | 黄色 | 绿色 | 蓝色 | 紫色 | 灰色 | 白色 |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 表示数字 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |

根据上述读码规则和色码含义可知，图中所示的电容器标称电容量为  $15 \times 10^4 \text{pF} = 150000 \text{pF} = 0.15 \mu\text{F}$ 。

如图 8-27 所示，当色码要表示两个重复的数字时，可用宽一倍的色码来表示，该电容器前两位色码颜色相同，所以用宽一倍的红色带表示。这一电容器的标称电容量为  $22 \times 10^4 \text{pF} = 220000 \text{pF} = 0.22 \mu\text{F}$ 。

如图 8-28 所示是 4 条色环电容器示意图，紧靠一端的是第 1 色环，第 1、2 为有效值色环，第 3 表示有效数后有几个 0，第 4 条色环表示误差，容量单位为 pF。



图 8-27 示意图

图 8-28 4 条色环电容器示意图

★8.1.13 电容器允许偏差表示方法

电容器的允许偏差归纳起来主要有 5 种表示方式。

1. 电容器容量允许偏差的等级表示方法

如表 8-7 所示是电容器误差等级说明。

表 8-7 电容器误差等级

| 误差标记 | 02 级              | I 级               | II 级               | III 级      |
|------|-------------------|-------------------|--------------------|------------|
| 误差含义 | $\pm 2\%$         | $\pm 5\%$         | $\pm 10\%$         | $\pm 10\%$ |
| 误差标记 | IV                | V                 | VI                 |            |
| 误差含义 | $+20\% \sim 30\%$ | $+50\% \sim 20\%$ | $+100\% \sim 10\%$ |            |



重要提示

允许偏差等级的标志直接标注在电容器上，根据允许偏差字母，查此表可以知道该电容器的允许偏差范围。例如，02 表示允许偏差范围为  $\pm 2\%$ 。

2. 电容器容量允许偏差的百分比表示方法

在这种允许偏差表示方式中，将  $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$  和  $\pm 20\%$  等直接标注在电容器上，识别比较方便。

3. 电容器容量允许偏差的数字表示百分比方法

这种允许偏差表示方式中，将  $\pm$  号和 % 号均省去，直接标出数字。例如，标出 5，表示该电容器的允许偏差为  $\pm 5\%$ 。

4. 电容器容量允许偏差的直接表示绝对允许偏差方式

这种表示方式中就是将绝对允许偏差直接标注在电容器上。例如， $4.7\text{pF} \pm 0.5\text{pF}$ 。

5. 电容器容量允许偏差的字母表示方式

这种允许偏差表示方式中，用一些大写字母来表示允许偏差，有下列三种情况。

1) 第 1 种情况。如表 8-8 所示是第一种情况，用字母表示对称允许偏差时的含义。所谓对称允许偏差是指正、负允许偏差量相同，例如字母 F 表示允许偏差为  $+1\%$  和  $-1\%$ 。

表 8-8 用字母表示对称允许偏差时的含义

| 字母 | 允许偏差                | 字母  | 允许偏差                      |
|----|---------------------|-----|---------------------------|
| X  | $\pm 0.001\%$       | P   | $\pm 0.02\%$              |
| X  | $\pm 0.002\%$       | W   | $\pm 0.05\%$              |
| E  | $\pm 0.005\%$       | B   | $\pm 0.1\%$               |
| L  | $\pm 0.01\%$        | C   | $\pm 0.25\%$              |
| D  | $\pm 0.5\%$         | K   | $\pm 10\%$                |
| F  | $\pm 1\%$           | M   | $\pm 20\%$                |
| G  | $\pm 2\%$           | N   | $\pm 30\%$                |
| J  | $\pm 5\%$           | H   | $(+100 \sim -0)\%$        |
| R  | $(+100 \sim -10)\%$ | S   | $(+50 \sim -20)\%$        |
| T  | $(+50 \sim -10)\%$  | Z   | $(+80 \sim -20)\%$        |
| Q  | $(+30 \sim -10)\%$  | 不标注 | $+ \text{不确定} \sim -20\%$ |

2) 第 2 种情况。如表 8-9 所示是第二种情况，用字母表示不对称允许偏差时的含义。所谓不对称允许偏差是指正偏差和负偏差不同，例如字母 T 表示正偏差为  $50\%$ ，而负偏差为  $10\%$ 。

表 8-9 用字母表示不对称允许偏差时的含义

| 字母    | H             | R               | T              | Q              | S              | Z              | 无标记                     |
|-------|---------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|
| 含义(%) | $+100$<br>$0$ | $+100$<br>$-10$ | $+50$<br>$-10$ | $+30$<br>$-10$ | $+50$<br>$-20$ | $+80$<br>$-20$ | $+ \text{不规定}$<br>$-20$ |

3) 第 3 种情况。如表 8-10 所示是第三种情况，用字母表示绝对允许偏差时的含义。所谓绝对允许偏差是指直接标出电容器的允许偏差值。

表 8-10 用字母表示绝对允许偏差时的含义

| 字母 | B         | C          | D         | E       |
|----|-----------|------------|-----------|---------|
| 含义 | $\pm 0.1$ | $\pm 0.25$ | $\pm 0.5$ | $\pm 5$ |



重要提示

字母表示绝对允许偏差方式只适用于标称电容量小于  $10\text{pF}$  的电容量，表中的允许偏差值的单位是  $\text{pF}$ 。例如，字母 D 表示绝对允许偏差为  $\pm 0.5$ ，表示该电容器的实际容量在比标称值大  $0.5\text{pF}$

和比标称值小 0.5pF 的范围内。

★8.1.14 电容器温度字母表示和工作电压色标方法

1. 电容器上表示温度的字母含义

如表 8-11 所示是电容器上表示温度的字母含义。

表 8-11 电容器上表示温度的字母含义

| 符号   | A   | B   | C   | D   | E   | 0   | 1   | 2   | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 温度/℃ | -10 | -25 | -40 | -55 | -65 | +55 | +70 | +85 | +100 | +125 | +155 | +200 | +250 |



重要提示

负温度用字母表示，正温度用数字表示。举一个例子，一个电容标志是 682JC4，表示电容的容量是 6800pF ± 5%，工作温度范围是从 -40℃ 到 125℃。

2. 工作电压色标方法

如图 8-29 所示是色标电容器中工作电压色环位置示意图，远离其他色环的那一环是表示电容器工作电压的色环。如表 8-12 所示是色环颜色表示工作电压的含义。

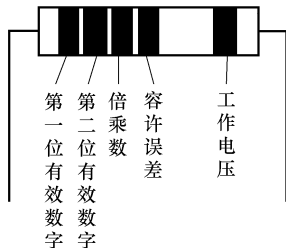


图 8-29 色标电容器中工作电压色环位置示意图

表 8-12 色环颜色表示工作电压的含义

| 颜色 | 工作电压 | 颜色 | 工作电压 |
|----|------|----|------|
| 银  | /    | 绿  | 32   |
| 金  | /    | 蓝  | 40   |
| 黑  | 4    | 紫  | 50   |
| 棕  | 6.3  | 灰  | 63   |
| 红  | 10   | 白  | /    |
| 橙  | 16   | 无色 | /    |
| 黄  | 25   |    |      |

3. 常用电容器直流电压系列

如表 8-13 所示是常用电容器直流电压系列（有“\*”的数值只限电解电容使用）。

表 8-13 常用电容器直流电压系列（有“\*”的数值只限电解电容使用）

|     |       |     |     |       |     |       |     |     |      |
|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-------|-----|-----|------|
| 1.6 | 4     | 6.3 | 10  | 16    | 25  | 32 *  | 40  | 50  | 63   |
| 100 | 125 * | 160 | 250 | 300 * | 400 | 450 * | 500 | 630 | 1000 |

★8.1.15 常用电容器标称容量系列和参数运用说明

1. 常用电容器的标称容量系列

如表 8-14 所示是常用电容器的标称容量系列。

表 8-14 常用电容器的标称容量系列

| 电容类别                                          | 允许误差         | 容量范围        | 标称容量系列                             |
|-----------------------------------------------|--------------|-------------|------------------------------------|
| 纸介电容、金属化纸介电容、<br>纸膜复合介质电容、低频(有极性)<br>有机薄膜介质电容 | ±5%          | 100pF ~ 1μF | 1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8            |
|                                               | ±10%<br>±20% | 1μF ~ 100μF | 1 2 4 6 8 10 15 20 30 50 60 80 100 |



(续)

| 电容类别                            | 允许误差                                                                | 容量范围                                                   | 标称容量系列                                                                                                              |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 高频(无极性)有机薄膜介质电容、瓷介电容、玻璃釉电容、云母电容 | $\pm 5\%$                                                           | $1\text{ pF} \sim 1\text{ }\mu\text{F}$                | 1. 1 1. 2 1. 3 1. 5 1. 6 1. 8 2. 0 2. 4<br>2. 7 3. 0 3. 3 3. 6 3. 9 4. 3 4. 7<br>5. 1 5. 6 6. 2 6. 8 7. 5 8. 2 9. 1 |
|                                 | $\pm 10\%$                                                          |                                                        | 1. 0 1. 2 1. 5 1. 8 2. 2 2. 7<br>3. 3 3. 9 4. 7 5. 6 6. 8 8. 2                                                      |
|                                 | $\pm 20\%$                                                          |                                                        | 1. 0 1. 5 2. 2 3. 3 4. 7 6. 8                                                                                       |
| 铝、钽、铌、钛电解电容                     | $\pm 10\%$<br>$\pm 20\%$<br>$+ 50\% / - 20\%$<br>$+ 100\% / - 10\%$ | $1\text{ }\mu\text{F} \sim 1000000\text{ }\mu\text{F}$ | 1. 0 1. 5 2. 2 3. 3 4. 7 6. 8                                                                                       |

2. 电容器各种表示方法举例说明

如表 8-15 所示是各种标注方式的电容器举例说明。

表 8-15 各种标注方式的电容器举例说明

| 示意图 | 说明                                                                                                                  |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | 这是金属化纸介电容,采用直标法表示标称电容量参数,CJ 表示金属化纸介电容器,其他参数均采用直接标注方式                                                                |
|     | 这是云母电容器,采用字母数字混标法表示标称容量,CY 表示云母电容器,标称容量采用字母数字混标法,4n7 表示标称容量为 4700pF                                                 |
|     | 这是采用色标法表示标称容量的电容器,3 条色带为同一种颜色,即均为红色,这 3 条色码表示 222,这是标称容量为 2200pF 的电容器                                               |
|     | 这是采用 3 位数表示标称容量的电容器,223 表示 $22 \times 10^3\text{ pF} = 0.022\text{ }\mu\text{F}$ 。字母 Z 表示允许偏差为 $+80\% \sim -20\%$ 。 |
|     | 这是采用直标法表示标称容量的电容器,7 表示标称电容量为 7pF                                                                                    |
|     | 这是采用直标法表示标称容量的电容器,0.056 表示标称电容量为 0.056μF,5 表示允许偏差为 $\pm 5\%$ ,25 表示额定电压为 25V                                        |
|     | 这是采用直标法表示标称容量的电容器,0.1 表示标称电容量为 0.1μF, $\pm 10\%$ 表示允许偏差,100VDC 表示直流额定电压为 100V                                       |
|     | 这是采用字母数字混标法表示标称容量的电容器,R47 表示 0.47μF,C6 表示工作温度为 $-40\text{ }^\circ\text{C} \sim +200\text{ }^\circ\text{C}$          |
|     | 这是采用字母数字混标法表示标称容量的电容器,47n 表示 $47 \times 10^3\text{ pF} = 47000\text{ pF} = 0.047\text{ }\mu\text{F}$ ,额定电压为 25V     |





3. 电容器参数运用说明

关于电容器参数运用说明如下。

- 1) 运用电容器时，第一要考虑的参数当然是标称容量及误差等级，特别是在一些振荡器选频电路中的电容器，它们的容量偏差将直接影响振荡器的振荡频率高低。
- 2) 在一些特殊电路中，例如彩色电视机行扫描电路中的行定时电容器，它是由两只不同温度系数的电容器构成，一只是正温度系数的聚酯电容器，另一只是负温度系数的聚丙烯电容器。在更换这两只电容器时，一定要用相同材料的电容器，否则温度系数不同，造成振荡器的振荡频率随温度变化而变化。
- 3) 耐压参数是关系到电容器是否能在电路中安全工作的大问题，如果耐压低，电容器会被击穿。

★8.1.16 电感器直标法和色标法

1. 电感器直标法

直标法是将标称电感量用数字直接标注在电感器的外壳上，同时用字母表示额定工作电流，再用Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ表示允许偏差。固定电感器除直接标出电感量外，还标出允许偏差和额定电流参数。

2. 电感器色标法

如图8-30所示是采用色标法标准的电感器实物示意图。有些固定电感器中，采用色标表示标称电感量和允许偏差，这种固定电感器称为色码电感器，它的标称电感量标注方法如图中所示。

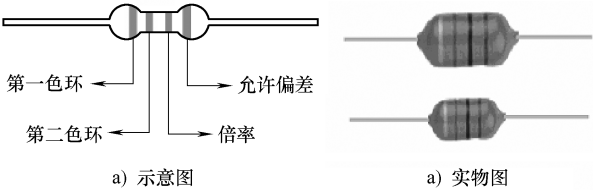


图 8-30 色标法电感器

色码电感器的读码方式与色标电阻器

一样，有效数字为两条，第3条为倍乘，最后一条为允许偏差色码。色码电感器的色码含义与色标电阻器的色码含义一样。

★8.1.17 固定电感器额定电流等级表示方法和电感器参数运用说明

1. 固定电感器额定电流等级表示方法

固定电感器中，额定电流共有5个等级，用大写字母表示，如表8-16所示为固定电感器中字母表示额定电流的具体含义。

表 8-16 固定电感器中字母表示额定电流的具体含义

| 字母 | A    | B     | C     | D     | E    |
|----|------|-------|-------|-------|------|
| 含义 | 50mA | 150mA | 300mA | 700mA | 1.6A |

2. 电感器参数运用说明

- 1) 工作电流比较大的电路中，主要关心电感器的额定电流参数，因为选择的电感器额定电流小了会造成电感器过电流损坏。
- 2) 振荡器电路中的电感器主要关心称标电感量的误差，因为电感量的偏差将影响振荡器的振荡频率。此外，还要关注Q值。
- 3) 对于工作在高频电路中的电感器还要关心电感器固有电容和品质因数参数，因为固有电容和品质因数参数将影响所在电路的频率特性等。

★8.1.18 变压器标注方法和参数运用说明

1. 变压器标注方法

变压器的参数表示方法通常用直标法，各种用途变压器标注的具体内容不相同，无统一的格式，下面举几例加以说明。



1) 某音频输出变压器二次线圈引脚处标出  $8\Omega$ , 说明这一变压器的二次线圈负载阻抗应为  $8\Omega$ , 即只能接阻抗为  $8\Omega$  的负载。

2) 某电源变压器上标注出 DB-50-2。DB 表示是电源变压器; 50 表示额定功率为 50VA; 2 表示产品的序号。

3) 有的电源变压器在外壳上标出变压器电路符号 (各线圈的结构), 然后在各线圈符号上标出电压数值, 说明各线圈的输出电压。

## 2. 变压器参数运用说明

关于变压器参数运用主要说明下列几点:

1) 在更换变压器时, 由于不同型号变压器绕组结构等情况不同, 需要用同一个型号变压器更换。对于电路设计时的变压器选择, 则需要根据不同用途, 对变压器参数进行优选。

2) 对于电源变压器主要考虑二次绕组结构和交流输出电压的大小, 在采用不同的整流电路 (半波还是全波、桥式) 时, 对变压器二次绕组的结构和输出电压大小都有不同要求。此外, 额定功率参数也是一个非常重要的参数, 如果选择的变压器额定功率小了, 使用中变压器会发热而影响安全。绝缘电阻参数更是一项安全指标, 绝缘不够将导致电源变压器漏电, 危及人身安全。

3) 对于音频变压器主要关心频率响应参数, 因为这一参数达不到要求时, 整个放大系统的频率响应指标就达不到要求。

### ★8.1.19 其他参数识别说明

#### 1. 其他元器件参数表示方式

对于二极管、晶体管、场效应晶体管、集成电路等元器件, 它们的参数并不标注在其外壳上, 而是在外壳标注元器件的型号, 再通过相关手册来查询该元器件的参数。所以, 凡是在外壳上标注出型号的元器件, 它们的参数都需要通过专门的手册来查询。

#### 2. 二极管参数运用说明

二极管在不同运用场合下, 对各项参数的要求是不同的。

1) 对用于整流目的的整流二极管, 重点要求它的最大整流电流和最大反向工作电压参数。

2) 对用于开关电路的开关二极管, 重点要求它的开关速度; 对于高频电路中的二极管, 重点要求它的最高工作频率和结电容等参数。

#### 3. 其他元器件参数运用说明

对于晶体管等其他元器件其参数的运用比较复杂, 要通过实际情况进行分类要求。

## 8.2 百种元器件引脚极性识别方法

本节阅读建议: 精心阅读, 全面掌握诸多元器件引脚极性识别方法, 必须学会识别方法, 可以采用边看书边用实物进行对照学习的方式。

本节难度系数: 3 级。

本节记忆系数: 9 级。



### 重要提示

电子元器件至少两根引脚, 多则有数十根, 甚者上百根引脚。

元器件的引脚有的有极性之分, 有的则有规定的排列序号, 使用中除部分两根引脚的元器件其引脚可以不分清楚外, 其他的元器件引脚都需要分清, 这就要求能够识别元器件的引脚极性和具体的引脚排列序号。

例如, 普通电阻器只有两根引脚, 使用中可以不必清这两根引脚。

晶体管有三根引脚，分别是基极、集电极和发射极，在使用中必须分清楚这三根引脚，否则就无法使用晶体管。

许多的集成电路有众多引脚，它的各引脚是有排列序号的，如①、②、③、④、⑤脚等，各引脚之间不能搞错。

识别元器件的方法主要有以下几种：

- 1) 根据引脚长短来识别引脚。
- 2) 根据引脚分布规律来识别引脚。
- 3) 根据引脚形状来识别引脚。
- 4) 通过万用表的检测来识别引脚。

## ★8.2.1 排阻共用端识别方法和两种引脚排序识别方法



### 重要提示

识别元器件引脚的具体作用如下：

- 1) 当元器件的两根引脚有正、负之分时，必须分清这两根引脚，否则元器件接入电路后不能正常工作，有的还会造成电路的故障。例如，二极管就是两根引脚的元器件，且有正、负引脚之分。
- 2) 多引脚元器件的每一根引脚都要分清楚，例如故障检修中需要测量第3根引脚的直流工作电压或是测量该引脚上的信号波形，这时就需要分清该元器件的引脚，例如排阻就是多引脚的元器件。
- 3) 在设计电路板（PCB）时需要分清元器件各引脚。

### 1. 排阻共用端识别方法

如图8-31所示，从排阻内电路中可以看出，内电路会有一个共用端，内电路中的1脚是共用端，在排阻上会有一个圆点标记的引脚，引出内电路的共用点。

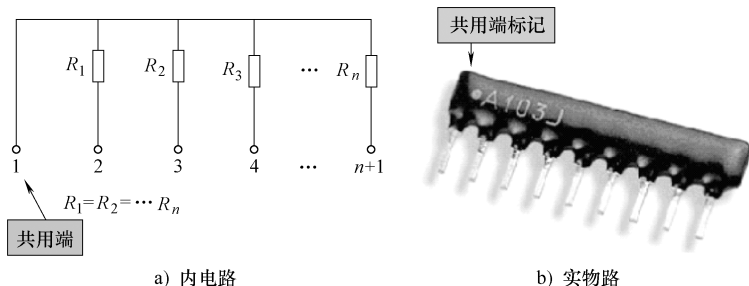


图 8-31 寻找共用端方法示意图

### 2. 排阻引脚排序识别方法

排阻有许多引脚，它们的引脚分布是有一定规律的，利用这个规律可以分清排阻的各引脚序号。排阻引脚分布识别方法主要有以下几种。

- 1) 引脚单列分布排阻。如图8-32所示是单列排阻的引脚识别方法示意图。

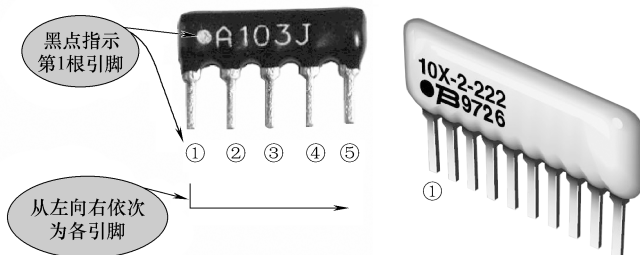


图 8-32 单列排阻引脚识别方法



2) 引脚双列分布排阻。引脚双列分布排阻有两种情况,一是有脚的双列排阻,二是贴片的双列排阻,它们的引脚分布规律和识别方法是相同的,如图 8-33 所示是贴片双列排阻引脚识别方法示意图。

将型号标注正面对着自己,这时左下方的第一根引脚是①脚,然后逆时针方向依次为各引脚。如图 8-34 所示是使用黑点表示第 1 根引脚的贴片双列排阻。

## ★8.2.2 四种可变电阻器引脚识别方法

### 1. 碳膜可变电阻器引脚识别方法

可变电阻器共有三根引脚,这三根引脚有区别,如图 8-35 所示是可变电阻器三根引脚示意图,根据三根引脚的分布位置可以分清楚这三根引脚,动片引脚远离另两个定片引脚。

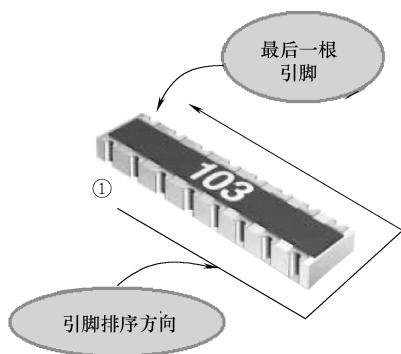


图 8-33 贴片双列排阻引脚识别方法

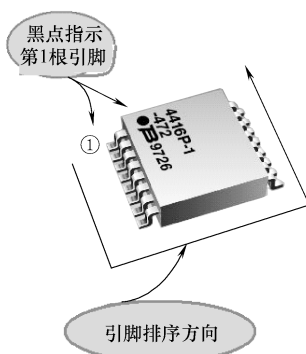


图 8-34 用黑点表示第 1 根引脚的贴片双列排阻

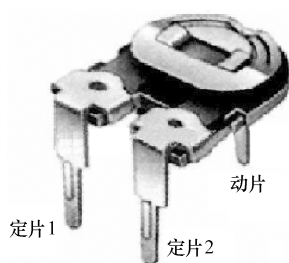


图 8-35 可变电阻器三根引脚示意图



### 重要提示

一根为动片引脚,另两根是定片引脚,一般两个定片引脚之间可以互换使用,而定片与动片之间引脚不能互换使用。

### 2. 小功率线绕式可变电阻器引脚识别方法

如图 8-36 所示是小功率线绕式可变电阻器引脚识别方法示意图,根据三根引脚的分布位置可以分清楚这三根引脚,动片引脚居中,两侧是两个定片。

### 3. 大功率线绕式可变电阻器引脚识别方法

如图 8-37 所示是大功率线绕式可变电阻器引脚识别方法示意图,居中的是动片,两侧的是两个定片。

### 4. 贴片式可变电阻器引脚识别方法

如图 8-38 所示是贴片式可变电阻器引脚识别方法示意图。



图 8-36 小功率线绕式可变电阻器引脚识别方法

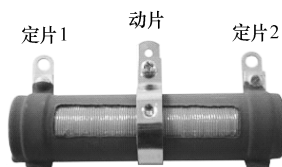


图 8-37 大功率线绕式可变电阻器引脚识别方法

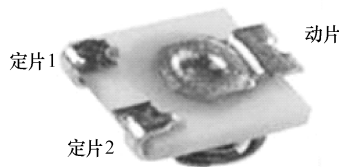


图 8-38 贴片式可变电阻器引脚识别方法

### ★8.2.3 两种电位器引脚识别方法



#### 重要提示

一般情况下电位器有三根引脚，但是带开关的电位器就有 5 根引脚，另外双联电位器有  $3 \times 2$  共 6 根引脚。

#### 1. 小型音量电位器引脚识别方法

如图 8-39 所示是小型音量电位器引脚识别方法示意图，根据各引脚的位置可以方便地识别这种电位器中的 5 根引脚。



#### 重要提示

这种电位器的两根开关引脚没有正、负之分。

这是音量电位器，它采用的 Z 型（或 C 型）电位器，由于阻值分布特性的原因，它们的两个定片引脚不能相互接反，两个定片中有一个应接地，另一个定片则接信号输入端，这在电路设计中要注意，即设计电路板（PCB）时要分清楚这两个定片引脚，否则电位器的控制特性错误。对于常见的音调电位器，则用 D 型（或 A 型）电位器，它的两个定片也要分清，方法同上。

在 X 型（B 型）电位器中，当动片转动至一半机械行程处时，动片到两个定片的阻值相等。由于 X 型电位器是线性的，所以这种电位器的两个定片可以互换。

#### 2. 转柄式电位器引脚识别方法

如图 8-40 所示是转柄式电位器引脚识别方法示意图，根据引脚分布位置可以识别这类电位器的各引脚。

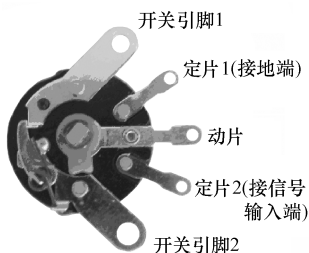


图 8-39 小型音量电位器引脚识别方法

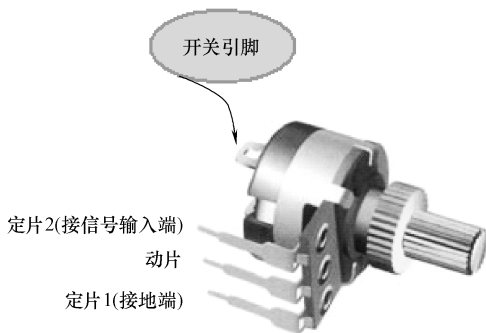


图 8-40 转柄式电位器引脚识别方法



#### 重要提示

识别非线性电位器引脚的方法是这样，逆时针方向转动转柄到头后，动片与地端定片之间的阻值为零，通过测量动片与定片之间的电阻值可以分辨出两个定片中哪个是应接地的定片。

这一识别方法适合于各类电位器，如可以识别直滑式电位器的引脚。

### ★8.2.4 多种有极性电解电容器正负引脚识别方法

在使用中，必需识别电解电容器的正、负极性引脚。





### 1. 普通电解电容器正负引脚识别方法

如图 8-41 所示是普通电解电容器正负引脚识别方法示意图, 通常情况下会在电解电容器的外壳上用“-”号表示该引脚为负极性引脚。

在新的电解电容器中采用长短不同的引脚来表示引脚极性, 通常长的引脚为正极性引脚, 如图 8-42 所示。当电容器使用之后, 由于引脚已剪掉便无法识别极性, 所以这种表示方法不够完善。

### 2. 贴片铝电解电容器引脚识别方法

如图 8-43 所示是三种贴片铝电解电容器极性标记示意图, 在侧面或顶部有一个黑色标记, 以标出负极性引脚位置。



图 8-41 普通电解电容器正负引脚识别方法

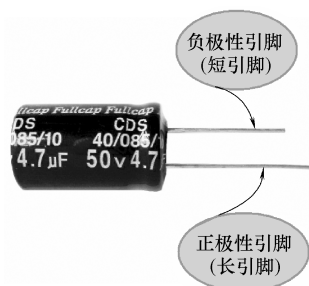


图 8-42 示意图

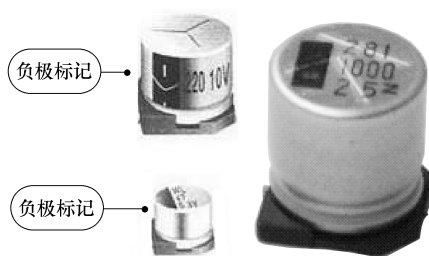


图 8-43 三种贴片有极性铝电解电容器极性标记

### 3. 贴片钽电解电容器引脚识别方法

如图 8-44 所示是贴片钽电解电容器引脚识别方法示意图, 它用一道有色的 (黑色或灰色等) 杠来表示正极性的引脚, 这一点与贴片铝电解电容器不同, 须注意。



#### 重要提示

只有分清楚贴片铝电解电容器和贴片钽电解电容器后才能正确分清正负极性引脚。

铝电解电容器的外形特征是上面为圆形的铝外壳, 下面为方形。

钽电解电容器的外形特征是长方体形状, 一端有杠的标记。

### 4. 贴片高分子聚合物固体铝电解电容器引脚识别方法

如图 8-45 所示是普通贴片式高分子聚合物固体铝电解电容器示意图, 从图中可以看出它的阳极有道标记, 有标记的这根引脚为正极性引脚。

如图 8-46 所示是另一种贴片式高分子聚合物固体铝电解电容器, 它的正极直接用“+”表示。

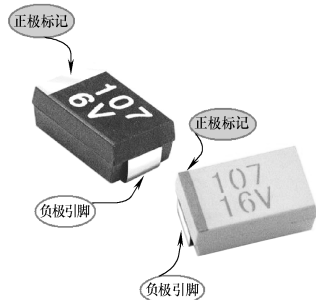


图 8-44 贴片钽电解电容器引脚识别方法

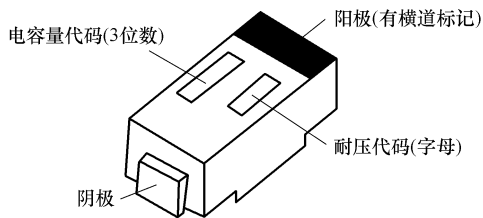


图 8-45 普通贴片式高分子聚合物固体铝电解电容器



图 8-46 贴片式高分子聚合物固体铝电解电容器正极示意图

5. 电解电容器防爆口识别方法

在电解电容器上设有防爆设计，如图 8-47 所示是人字型防爆口，此外还有十字型等多种，有的防爆口设在底部，形状也有多种多样。

6. 铝电解电容器加套颜色含义识别方法及使用特性

如表 8-17 所示是铝电解电容器加套颜色含义识别方法及使用特性。

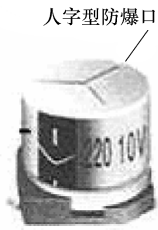


图 8-47 电解电容器上的防爆口示意图

表 8-17 铝电解电容器加套颜色含义识别方法及使用特性

| 系列   | 加套颜色 | 特点        | 应用范围        | 电压范围        | 容量范围                 | 通用 | 小型化 | 薄型化 | 低 ESR | 双极性 | 低漏电 |
|------|------|-----------|-------------|-------------|----------------------|----|-----|-----|-------|-----|-----|
| MG   | 黑    | 小型标准      | 通用电路        | 6.3 ~ 250V  | 0.22 ~ 10000 $\mu$ F | 是  | 是   |     |       |     |     |
| MT   | 橙    | 105℃ 小型标准 | 高温电路        | 6.3 ~ 100V  | 0.22 ~ 1000 $\mu$ F  | 是  | 是   |     |       |     |     |
| SM   | 蓝    | 高度 7mm    | 微型机         | 6.3 ~ 63V   | 0.1 ~ 190 $\mu$ F    | 是  | 是   | 是   |       |     |     |
| MG-9 | 黑    | 高度 9mm    | 薄型机         | 6.3 ~ 50V   | 0.1 ~ 470 $\mu$ F    | 是  | 是   | 是   |       |     |     |
| BP   | 浅蓝   | 双极性       | 极性反转电路      | 6.3 ~ 50V   | 0.47 ~ 470 $\mu$ F   |    | 是   |     |       | 是   |     |
| EP   | 浅蓝   | 高稳        | 定时电路        | 16 ~ 50V    | 0.1 ~ 470 $\mu$ F    |    |     |     | 是     |     | 是   |
| LL   | 黄    | 低漏电       | 定时电路, 小信号电路 | 10 ~ 250V   | 0.1 ~ 1000 $\mu$ F   |    | 是   |     |       |     | 是   |
| BPC  | 深蓝   | 耐高纹波电流    | S 校正电路      | 25 ~ 50V    | 1 ~ 12 $\mu$ F       |    | 是   |     | 是     | 是   |     |
| BPA  | 海蓝   | 音质改善      | 音频电路        | 25 ~ 63V    | 1 ~ 10 $\mu$ F       |    | 是   | 是   | 是     | 是   |     |
| HF   | 灰    | 低阻抗       | 开关电路        | 6.3 ~ 63V   | 22 ~ 2200 $\mu$ F    |    | 是   |     | 是     |     |     |
| HV   | 西太青蓝 | 高耐压       | 高压电路        | 160 ~ 4000V | 1 ~ 100MF            |    |     |     |       |     |     |

★8.2.5 三种微调电容器引脚识别方法

1. 瓷介微调电容器引脚识别方法

如图 8-48 所示是三种瓷介微调电容器示意图，根据这个示意图可以识别各引脚。

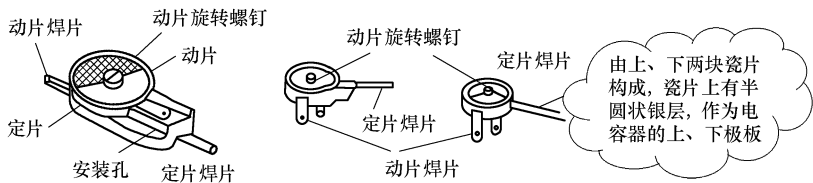


图 8-48 三种瓷介微调电容器



重要提示

实用电路中，要将动片接地，这样可消除在调节动片时的有害干扰，因为调节时手指（人体）



与动片相接触，动片接地后，相当于人体接触的是电路中的地线，可以大大减小人体对电路工作的干扰。

## 2. 有机薄膜微调电容器引脚识别方法

如图 8-49 所示是有机薄膜微调电容器示意图，根据这个示意图可以识别各引脚。

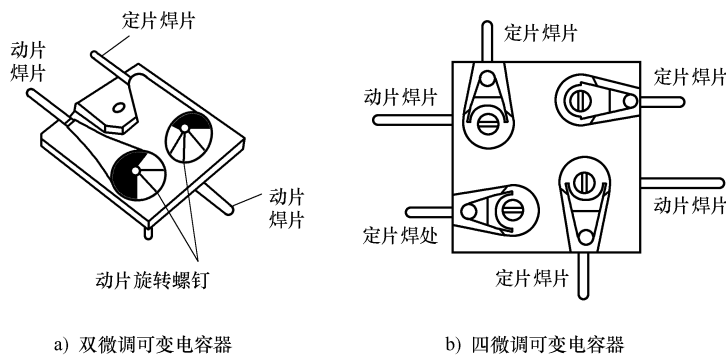


图 8-49 有机薄膜微调电容器



### 重要提示

双微调或四微调电容器共用一个动片引脚，每个微调电容器之间彼此独立。有机薄膜微调电容器通常装在双联或四联内，与双联或四联共用动片引脚。

## 3. 拉线微调电容器引脚识别方法

如图 8-50 所示是拉线微调电容器结构示意图，根据这个示意图可以识别各引脚。

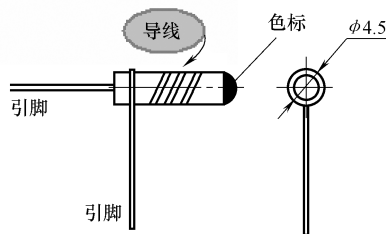


图 8-50 拉线微调电容器结构示意图

## ★8.2.6 四种可变电容器引脚识别方法

### 1. 单联可变电容器引脚识别方法

如图 8-51 所示是两种单联可变电容器的外形图示意图，根据这个示意图可以识别各引脚。

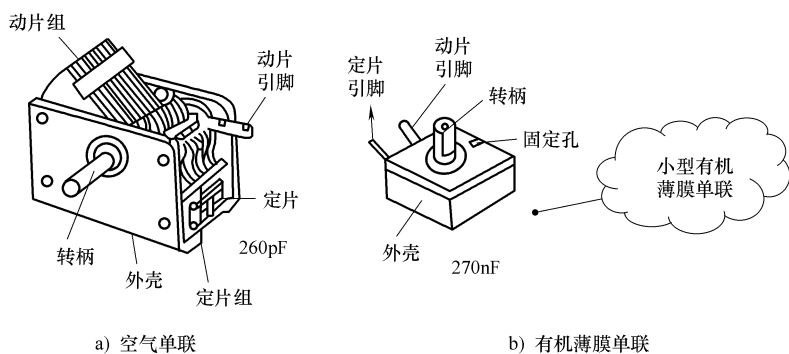


图 8-51 两种单联可变电容器外形图



### 重要提示

在有机薄膜单联可变电容器中，定片引脚在左侧端点，而动片引脚设在中间，以便区别动、定

片引脚。

## 2. 等容双联可变电容器引脚识别方法

1) 等容空气双联可变电容器引脚识别方法。如图 8-52 所示是等容空气双联可变电容器引脚识别方法示意图, 根据这一示意图可以方便识别各引脚。

### 重要提示

两个联的动片共用一个动片引脚, 这样双联共有三根引脚, 两个定片的引脚, 另一个是共用的动片引脚。

由于两个联的容量相等, 所以可不分哪个是调谐联 (用于天线调谐回路), 哪个是振荡联 (用于本振回路), 使用中出于减小干扰的考虑, 一般将远离转柄的一个联作为振荡联。

2) 等容小型密封双联可变电容器引脚识别方法。如图 8-53 所示是等容小型密封双联可变电容器引脚识别方法示意图, 根据这一示意图可以方便识别各引脚。

## 3. 差容双联可变电容器引脚识别方法

1) 差容空气双联可变电容器引脚识别方法。如图 8-54 所示是差容空气双联可变电容器引脚识别方法示意图, 依据这一实物图可以方便地分清各引脚, 输入联即为调谐联。

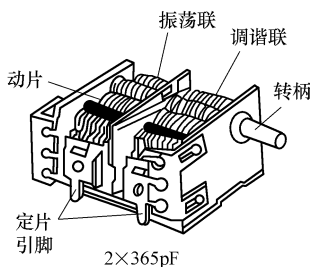


图 8-52 等容空气双联可变电容器引脚识别方法

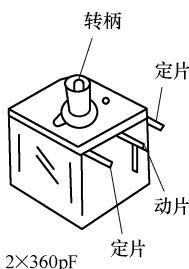


图 8-53 等容小型密封双联可变电容器引脚识别方法

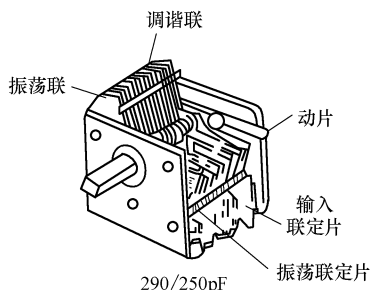


图 8-54 差容空气双联可变电容器引脚识别方法

### 重要提示

由于差容双联可变电容器中的两只可变电容器的最大容量不相等, 所以使用中必须分清这两只可变电容器的定片引脚, 两只可变电容器的动片引脚仍然共用。

2) 小型有机薄膜双联可变电容器引脚识别方法。如图 8-55 所示是小型有机薄膜双联可变电容器引脚识别方法示意图, 依据这一实物图可以方便地分清各引脚。

3) 超小型有机薄膜双联可变电容器引脚识别方法。如图 8-56 所示是超小型有机薄膜双联可变电容器引脚识别方法示意图, 依据这一实物图可以方便地分清各引脚。

## 4. 四联可变电容器引脚识别方法

如图 8-57 所示是有机薄膜四联可变电容器引脚识别方法示意图, 依据这一实物图可以方便地分清各引脚。

## ★8.2.7 磁棒天线线圈和扬声器引脚识别方法

### 1. 磁棒天线线圈引脚识别方法

如图 8-58 所示是磁棒天线线圈引脚识别方法示意图, 图中匝数多的一次线圈, 匝数少的是二次线圈。

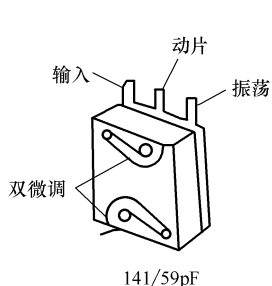


图 8-55 小型有机薄膜双联可变电容器引脚识别方法

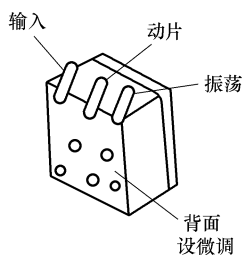


图 8-56 超小型有机薄膜双联可变电容器引脚识别方法

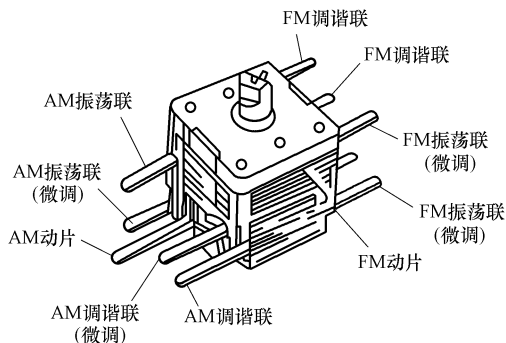


图 8-57 有机薄膜四联可变电容器的引脚分布示意图

## 2. 扬声器引脚识别方法

扬声器有两根引脚，它们分别是音圈的头和尾引出线，当两只以上扬声器同时运用时，要注意扬声器两根引脚的极性，当电路中只用一只扬声器时，它的两根引脚没有极性之分。另外，扬声器的引脚极性是相对的，不是绝对的，只要在同一电路中运用的各扬声器极性规定一致即可。

### 重要提示

在多于一只扬声器运用时，要分清扬声器引脚极性的原因是：当两只扬声器不是同极性相串联或并联时，流过这两只扬声器音圈的电流方向不同，一个是从音圈的头流入，另一个是从音圈的尾流入，这样当一只扬声器的纸盆向前振动时，另一只扬声器的纸盆为向后振动，两只扬声器纸盆振动的相位相反，使一部分空气振动的能量被抵消。

所以，要求多于一只扬声器在同一设备中运用时，要同极性相串联或并联，以使各扬声器纸盆振动的方向一致。

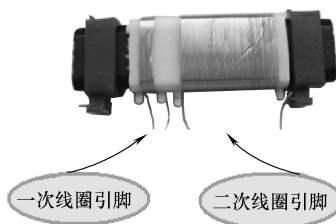


图 8-58 磁棒天线线圈引脚识别方法

1) 扬声器引脚直接识别方法。如图 8-59 所示是扬声器背面的接线架示意图。从这一图中可以看出，在支架上已经标出了两根引线的正、负极性，此时可以直接识别出来。

2) 扬声器引脚试听判别方法。如图 8-60 所示，将两只扬声器按图示方式接线，即将两只扬声器两根引脚任意并联起来，再接在功率放大器的输出端，给两只扬声器馈入电信号，此时两只扬声器同时发出声音。

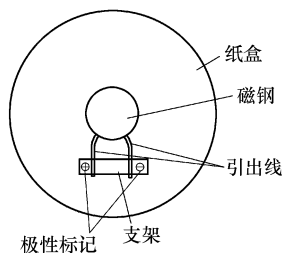


图 8-59 扬声器背面的接线架示意图



图 8-60 示意图

然后，将两只扬声器口对口地接近，此时若声音越来越小了，说明两只扬声器是反极性并联的，即一只扬声器的正极与另一只扬声器的负极相并联了。



### 重要提示

这个识别方法原理是：当两只扬声器反极性并联时，一只扬声器的纸盆向里运动，另一只扬声器的纸盆向外运动，这时两只扬声器口与口之间的声压减小，所以声音低了。当两只扬声器相互接近之后，两只扬声器口与口之间的声压更小，所以声音更小。

除上述几种方法之外，还可以使用万用表进行扬声器的引脚识别。

## ★8.2.8 四种普通二极管引脚识别方法

### 重要提示

二极管两根引脚有正负之分，分清两根引脚主要是利用二极管上的标记。

二极管引脚还要通过万用表的检测来识别。

二极管正极和负极引脚识别是比较方便的，通常情况下通过观察二极管的外形和引脚极性标记，能够直接分辨出二极管两根引脚的正、负极性。

#### 1. 常见极性标注形式

如图 8-61 所示是二极管常见极性标注形式示意图，这是塑料封装的二极管，用一条灰色的色带表示出二极管的负极。

#### 2. 电路符号极性标注形式

如图 8-62 所示是二极管电路符号极性标注形式示意图，根据电路符号可以知道正、负极，图中右侧为负极，左侧为正极。

#### 3. 贴片二极管负极标注形式

如图 8-63 所示是贴片二极管负极标注形式示意图，在负极端用一条灰杠表示。

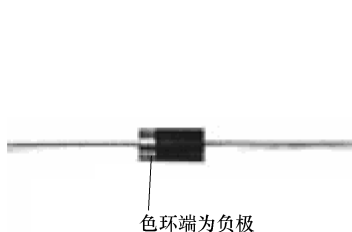


图 8-61 二极管常见极性标注形式

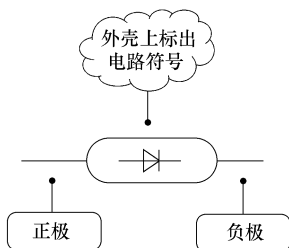


图 8-62 二极管电路符号极性标注形式



图 8-63 贴片二极管负极标注形式

#### 4. 大功率二极管引脚极性识别方法

如图 8-64 所示是大功率二极管引脚极性识别方法示意图，这是采用外形特征识别二极管极性的方法示意图，图中所示二极管的正、负极引脚形式不同，这样也可以分清它的正、负极，带螺纹的一端是负极，这是一种工作电流很大的整流二极管。

## ★8.2.9 七种发光二极管引脚极性识别方法

为了不影响发光二极管的正常发光，在外壳上不标出型号和极性。

#### 1. 长短引脚方式区别正负极引脚方法

如图 8-65 所示是用引脚长短区别正、负极性引脚的发光二极管，它的两根引脚一长一短，长的一根是正极，短的引脚为负极。

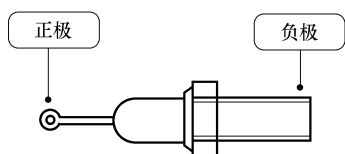


图 8-64 大功率二极管引脚极性识别方法

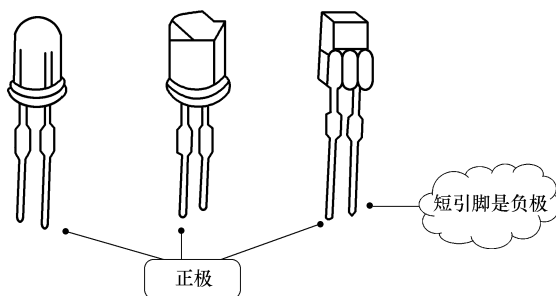


图 8-65 用引脚长短区别正、负极性引脚的发光二极管

## 2. 突键方式区别正负极引脚方法

如图 8-66 所示是突键方式表示正极性引脚方法，发光二极管底座上有一个突键，靠在此键最近的一根引脚为正极。

## 3. 三根引脚变色发光二极管引脚识别方法之一

如图 8-67 所示是三根引脚的变色发光二极管引脚识别方法示意图，依据引脚分布规律可以方便地确定各引脚。

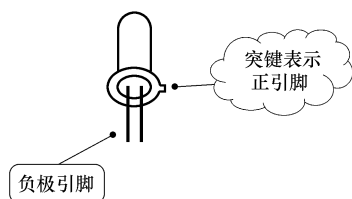


图 8-66 突键方式表示正极性引脚方法

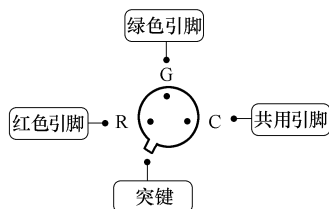


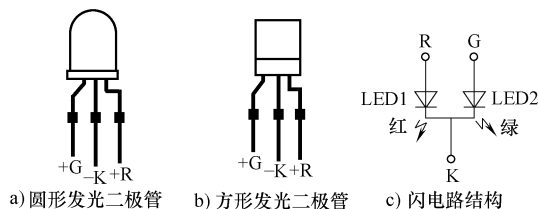
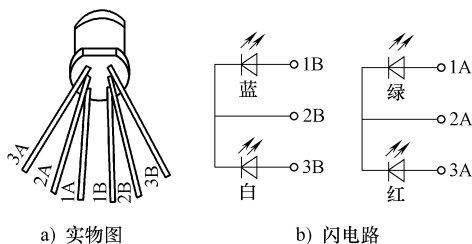
图 8-67 三根引脚的变色发光二极管引脚识别方法

## 4. 三根引脚变色发光二极管引脚识别方法之二

如图 8-68 所示是另一种三根引脚发光二极管引脚分布规律和内电路示意图。内设二只不同颜色发光二极管。K 为共同引脚。

## 5. 六根引脚发光二极管引脚识别方法

如图 8-69 所示是六根引脚发光二极管引脚分布规律和内电路示意图。它内调两组三根引脚的发光二极管。

图 8-68 一种三根引脚发光二极管  
引脚分布规律和内电路示意图图 8-69 六根引脚发光二极管引脚  
分布规律和内电路示意图

## 6. 电压控制型发光二极管引脚识别方法

如图 8-70 所示是电压控制型发光二极管示意图。

电压控制型发光二极管两根引脚中长一根为正极性引脚，短的为负极性引脚。这种发光二极管



的发光颜色有红、黄、绿等，工作电压有 5V、9V、12V、18V、19V、24V 共 6 种规格，常用的是 BTV 系列。

7. 闪烁型发光二极管引脚识别方法

闪烁型发光二极管是一种由 CMOS 集成电路和发光二极管组成的特殊发光器件，如图 8-71 所示是闪烁型发光二极管示意图。它的两引根引脚中，长引脚是正极性引脚，短引脚是负极性引脚。

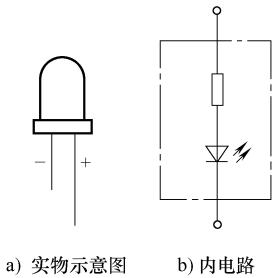


图 8-70 电压控制型发光二极管示意图

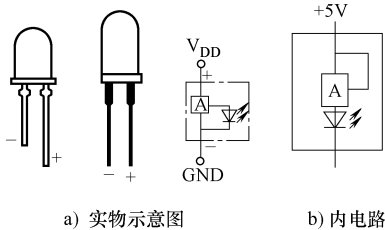


图 8-71 闪烁型发光二极管示意图

★8.2.10 红外发光二极管、稳压二极管和变容二极管引脚识别方法

1. 几种红外发光二极管引脚识别方法

如图 8-72 所示是几种红外发光二极管引脚识别方法示意图，根据引脚分布规律可以识别正负引脚。

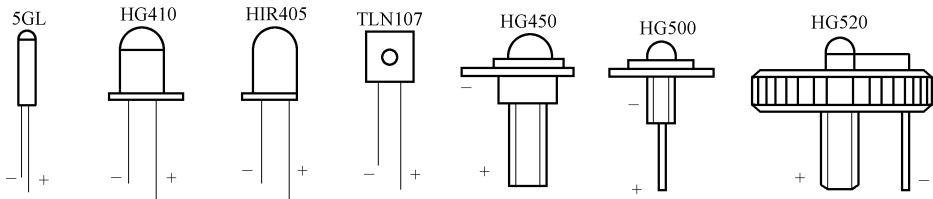


图 8-72 几种红外发光二极管引脚识别方法示意图

2. 稳压二极管引脚识别方法

稳压二极管外形特征和管壳上会有多种标记，它们用来区别稳压二极管的正、负引脚，如图 8-73 所示。例如，有的稳压二极管上直接标出电路符号，塑料封装的稳压二极管有标记的一端为负极，金属封装稳压二极管半圆面一端为负极，平面一端为正极。



重要提示

稳压二极管也是一个 PN 结的结构，所以运用万用表欧姆挡测量 PN 结的正向和反向电阻可以分辨正、负引脚。

3. 变容二极管正负引脚识别方法

有的变容二极管的一端涂有黑色标记，这一端即是负极，如图 8-74 所示，而另一端为正极。还有的变容二极管的管壳两端分别涂有黄色环和红色环，或是只涂红色点，红色环的一端为正极，黄色环的一端为负极，如图 8-75 所示是变容二极管红色点标记示意图。

★8.2.11 快恢复和超快恢复二极管、恒流二极管和变阻二极管引脚识别方法

1. 快恢复和超快恢复二极管引脚识别方法

如图 8-76 所示是几种快恢复和超快恢复二极管引脚识别示意图，带有色环的一端为负极引脚。

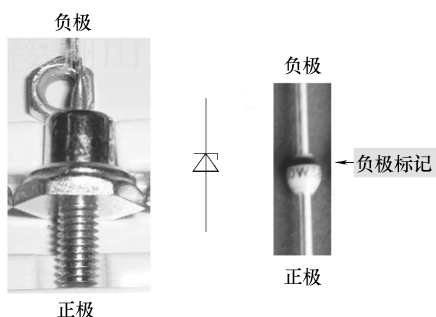
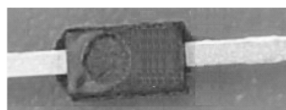


图 8-73 稳压二极管极性识别标记



负极标记

图 8-74 变容二极管黑色环负极标记



红色点正极标记

图 8-75 变容二极管红色点正极标记示意图

## 2. 恒流二极管引脚识别方法

如图 8-77 所示是恒流二极管实物照片，只有两个引线，靠近管壳突起的引线为正极引脚。

## 3. 变阻二极管引脚识别方法

变阻二极管一般采用轴向塑料封装，如图 8-78 所示，它的负极标记颜色为浅色，而普通二极管的色标颜色一般为黑色。

### ★8.2.12 国产金属封装晶体管引脚识别方法



#### 重要提示

晶体管的三根引脚分布有一定规律（即封装形式），根据这一规律可以非常方便地进行三根引脚的识别。

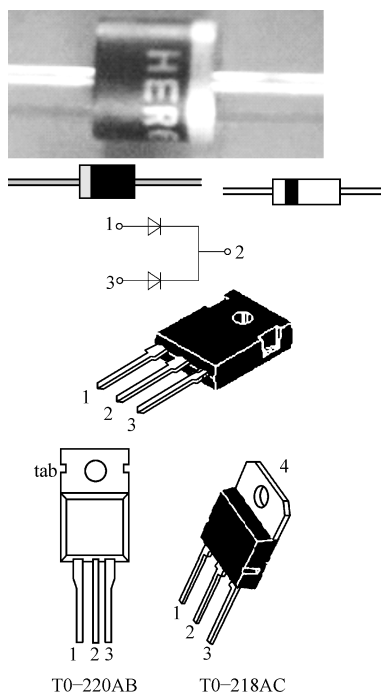


图 8-76 几种快恢复和超快恢复二极管引脚识别示意图



图 8-77 恒流二极管实物照片

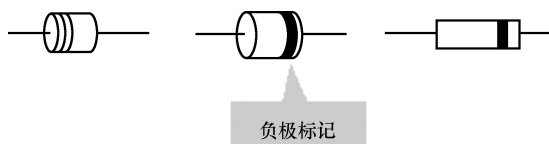
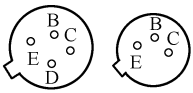
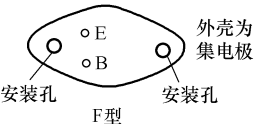
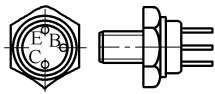
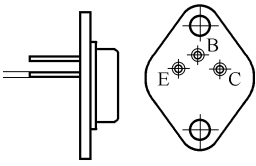


图 8-78 变阻二极管

在修理和检测中，需要了解晶体管的各引脚。不同封装的晶体管，其引脚分布规律不同。这里给出一些塑料封装和金属封装晶体管引脚分布规律。

如表 8-18 所示是国产金属封装晶体管引脚识别方法。

表 8-18 国产金属封装晶体管引脚识别方法

| 封装图                                                                                      | 说 明                                                                                    | 封装图                                                                                          | 说 明                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <br>B型  | B 型金属封装晶体管主要用于 1W 及以下小功率晶体管的封装<br>有的 B 型金属封装晶体管有四根引脚，其中一个接外壳，和晶体管电路没有关系<br>靠近突出键是发射极 E | <br>F型      | F 型金属封装主要用于低频大功率晶体管的封装<br>这种封装晶体管只有两根引脚，另一根集电极引脚是金属外壳                      |
| <br>C型  | C 型金属封装晶体管主要用于小功率锗晶体管的封装<br>靠近突出键是发射极 E                                                | <br>G型      | G 型金属外形封装主要用于低频大功率晶体管的封装，共有 5 种规格，外形特征相同，只是外形尺寸不同<br>引脚分布见图 8-18 所示        |
| <br>D型  | D 型金属封装管的外形和 B 型管相似，只不过外形尺寸较大<br>三根引脚 E、B、C 呈等腰三角形分布。等腰三角形的左角为发射极 E                    | <br>B2-01型 | B2-01 型金属封装主要用于低频或高频大功率晶体管的封装，常见的有两种规格，它们外形特征相同，只是外形尺寸不同<br>引脚分布见图 8-18 所示 |
| <br>E型 | 三根引脚 E、B、C 呈等腰三角形分布。等腰三角形的左角为发射极 E                                                     |                                                                                              |                                                                            |

★8.2.13 国产塑料封装晶体管引脚识别方法

如图 8-79 所示是国产塑料封装晶体管引脚识别方法示意图。S—1、S—2 和 S—4 型塑料封装主要用于小功率晶体管，S—5 ~ S—8 塑料封装主要用于大功率晶体管。

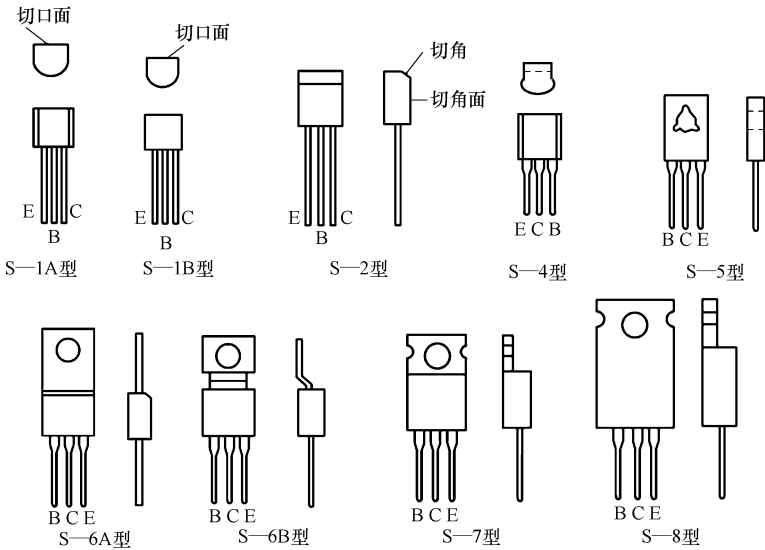


图 8-79 国产塑料封装晶体管引脚识别方法





### ★8.2.14 国产微型晶体管引脚识别方法

微型晶体管又称芝麻管，它们的外形封装形式有陶瓷封装、环氧树脂封装及玻璃封装，如图8-80所示是几种国产微型晶体管引脚识别方法示意图。

### ★8.2.15 进口晶体管引脚识别方法

进口晶体管以日本、美国及欧洲的为多见，这些进口晶体管的外形封装普遍采用TO系列，以及其他形式的封装。

TO系列及其他系列主要有：TO-92、TO-92S、TO-92NL、TO-126、TO-251、TO-251A、TO-252、TO-263（3线）、TO-220、SOT-23、SOT-143、SOT-143R、SOT-25、SOT-26、TO-50。如图8-81所示是部分TO系列及其他系列封装晶体管引脚识别方法示意图。

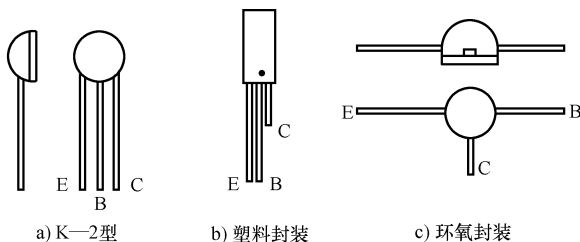


图8-80 几种国产微型晶体管引脚识别方法

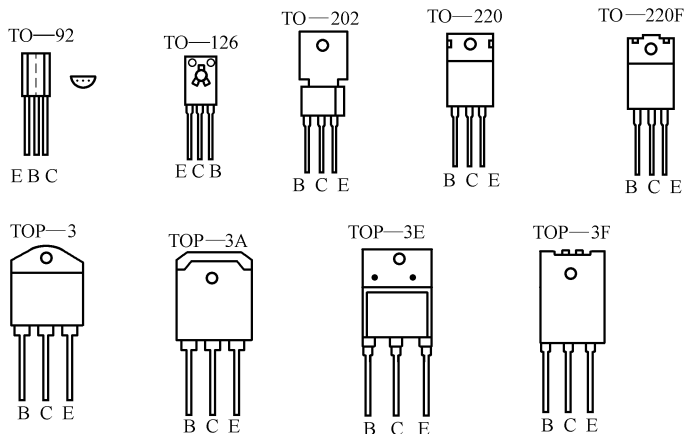
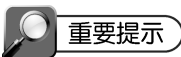


图8-81 部分TO系列及其他系列封装晶体管引脚识别方法

### ★8.2.16 贴片晶体管引脚识别方法

如图8-82所示是贴片晶体管引脚识别方法示意图，依据引脚分布规律可以识别各引脚。

### ★8.2.17 两种类型单列直插集成电路引脚分布规律及识别方法



#### 重要提示

在集成电路的电路图中，可以看到它的各个引脚编号，如①脚、②脚、③脚等，这些编号对应了集成电路的特定引脚，①脚对应集成电路的第一根引脚，②脚是这一集成电路的第二根引脚。在检修、更换集成电路过程中，往往需要在集成电路实物上找到相应的引脚。

例如，在一个9根引脚的集成电路中，要找到③脚。由于集成电路的型号很多，不可能根据型号去记忆它的各引脚位置，只能借助于集成电路的引脚分布规律，来识别形形色色集成电路的引脚号。

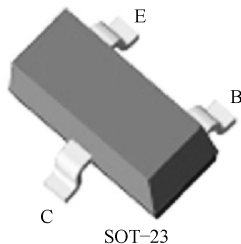


图8-82 贴片晶体管引脚识别方法

## 1. 识别集成电路引脚号对分析电路工作原理的意义



### 重要提示

对于每一个集成电路，它的第1、第2根等引脚是确定的，且这些引脚的序号与集成电路电路图中的编号是一一对应的。识别集成电路的引脚号对分析集成电路的工作原理和检修集成电路故障都有重要意义。

分析集成电路工作原理时，是根据电路图中集成电路的编号进行外电路的分析，仅这一点而言是没有必要进行集成电路的引脚号识别的。但是，在一些情况下由于没有集成电路的电路图，而需要根据集成电路实物画出它的电原理图时，就得用到集成电路的引脚号。

例如，先找出集成电路的第一根引脚，再观察电路板上哪里元器件与第一根引脚相连，这样可以画出①脚的外电路图。同样的方法，可以画出集成电路的各引脚外电路，这样就能得到该集成电路的电原理图。

## 2. 识别引脚号对检修故障的意义

对集成电路进行故障检修时，更是少不了识别集成电路的引脚号。下列几种情况都需要知道集成电路的引脚号。

1) 测量某引脚上的直流工作电压，或观察某引脚上的信号波形。在故障检修中，往往依据电原理图进行分析，确定先测量某根引脚上的直流电压或观察信号波形，这时就得在集成电路的实物上找出该引脚。

2) 查找电路板上的元器件时需要知道集成电路的引脚号。例如，要检查某集成电路⑨脚上的电容1C7，如果直接找电容会因电路板上电容会太多不容易找到，此时先找到集成电路的⑨脚（因为电路板上的集成电路往往比较少），沿⑨脚铜箔线路就能比较方便地找到电容1C7。

3) 更换集成电路时，装上新集成电路要对准原来的各引脚孔，方向装反了就会导致第一脚装在了最后一根引脚上。在一些电路板上，会标出集成电路的引脚号，如图8-83所示。从图中可看出，①脚在左边，⑨脚在右边，装上新集成电路时要识别出第一根引脚①脚，然后将第一根引脚对准电路板上的①脚孔。

4) 选配集成电路时需要知道引脚号。如果是同型号集成电路进行直接代替只要搞清楚引脚的方向即可，可有时需要进行改动代替，即新换上的集成电路与原集成电路之间的引脚号可能不对，或需要进行调整，或是在某引脚上另加元器件，这时就必须先识别集成电路的引脚号。



图8-83 电路板上集成电路引脚号示意图

## 3. 单列直插集成电路引脚分布规律及识别方法



### 重要提示

单列集成电路有直插和曲插两种，两种单列集成电路的引脚分布规律相同，但在识别引脚号时有所差异。

所谓单列直插集成电路就是它的引脚只有一列，且引脚为直的（不是弯曲的），这类集成电路的引脚分布规律可以用如图8-84所示的示意图来说明。

在单列直插集成电路中，一般情况下有一个用来指示第一根引脚的标记，从图中可以看出这一点。

图8-84a所示集成电路中，正面朝着自己，引脚向下，左侧端有一个小圆坑，或其他什么标记，它是用来指示第一根引脚位置的，说明左侧端点的引脚为第一根引脚，然后依次从左向右为各引脚，见图中引脚分布所示。

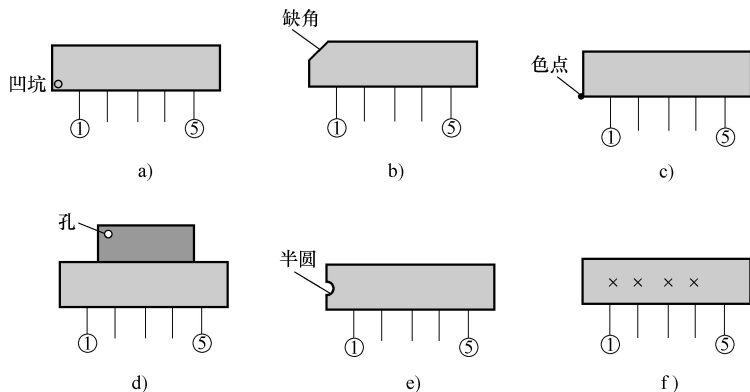


图 8-84 几种单列直插集成电路引脚分布示意图

图 8-84b 所示集成电路中, 在集成电路的左侧上方有一个缺角, 说明左侧端点第一根引脚为①脚, 依次从左向右为各引脚, 见图中引脚分布所示。

图 8-84c 所示集成电路中, 左侧有一个色点, 用色点表示第一根引脚的位置, 也是从左向右依次为各引脚, 见图中引脚分布所示。

图 8-84d 所示集成电路中, 在散热片左侧有一个小孔, 说明左侧端第一根引脚为①脚, 依次从左向右为各引脚, 见图中引脚分布所示。

图 8-84e 所示集成电路中左侧有一个半圆缺口, 说明左侧端第一根引脚为①脚, 依次从左向右为各引脚, 见图中引脚分布所示。

在单列直插的集成电路中, 会出现图 8-84f 所示集成电路, 在外形上无任何第一根引脚的标记, 此时将印有型号的一面朝着自己, 且将引脚朝下, 最左端为第一根引脚, 依次为各引脚, 见图中引脚分布所示。

从上述几种单列直插集成电路引脚分布规律来看, 除图 8-84f 所示集成电路外 (这种情况很少见), 其他集成电路都有一个较为明显的标记 (缺角、孔、色点等) 来指示第一根引脚的位置, 而且都是自左向右依次为各引脚, 这是单列直插集成电路的引脚分布规律, 以此规律可以很方便地识别各引脚号。

#### 4. 单列曲插集成电路引脚分布规律及识别方法

单列曲插集成电路的引脚也是呈一列排列的, 但引脚不是直的, 而是弯曲的, 即相邻两根引脚弯曲方向不同, 如图 8-85 所示是几种单列曲插集成电路的引脚分布规律示意图。在单列曲插集成电路中, 将正面对着自己, 引脚朝下, 一般情况下集成电路的左边也有一个用来指示第一根引脚的标记。

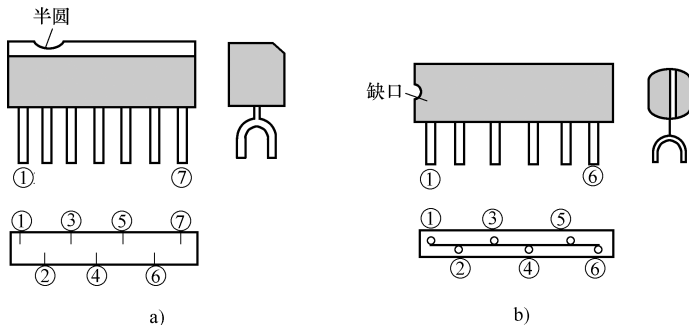


图 8-85 几种单列曲插集成电路引脚分布规律示意图

图 8-85a 所示的曲插集成电路中, 它的左侧顶端上有一个半圆口, 表示左侧端点第一根引脚为①脚, 然后自左向右依次为各引脚, 见图中引脚分布所示。从图中可以看出, ①、③、⑤单数引脚在弯曲一侧, ②、④、⑥双数引脚弯曲在另一侧。

图 8-85b 所示的曲插集成电路中，它的左侧有一个缺口，此时最左端引脚为第一根引脚①脚，自左向右依次为各引脚，也是单数引脚在一侧排列，双数引脚在另一侧排列，见图中引脚分布所示。

单列曲插集成电路的外形远不止上述两种，但它们都有一个标记来指示第一根引脚的位置，然后依次从左向右为各引脚，单数引脚为一侧，双数引脚为另一侧，这是单列曲插集成电路的引脚分布规律，以此规律可以很方便地分辨出集成电路的各引脚号。

当集成电路上无明显标记时，可将集成电路型号一面朝着自己，引脚向下，然后最左侧第一根引脚是集成电路的①脚，从左向右依次为各引脚，且也是单数的引脚在一侧，双数引脚在另一侧。

## ★8.2.18 三种类型双列集成电路引脚分布规律及识别方法

### 重要提示

双列直插集成电路是使用量最多的一种集成电路，这种集成电路的外封装材料常见的是塑料的，也可以是陶瓷的，集成电路的引脚分成两列，两列引脚数相等，引脚可以是直插的，也可以是曲插的，但曲插的双列集成电路很少见到。两种双列集成电路的引脚分布规律相同，但在识别引脚号时有所差异。

### 1. 双列直插集成电路引脚分布规律及识别方法

如图 8-86 所示是 4 种双列直插集成电路的引脚分布示意图。在双列直插集成电路中，将印有型号一面的朝上，且将型号正对着自己，这时集成电路的左侧下方会不同的标记来表示第 1 根引脚。

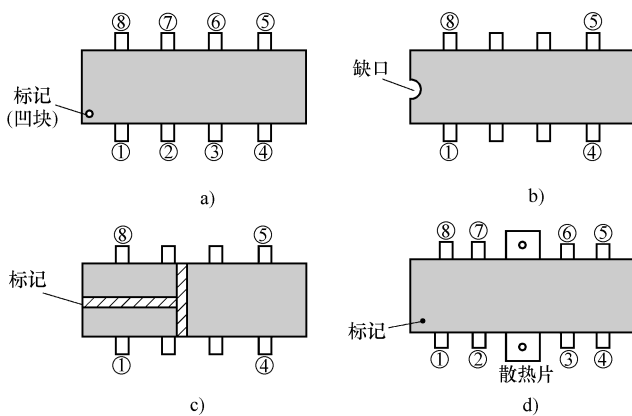


图 8-86 4 种双列直插集成电路引脚分布示意图

图 8-86a 所示双列集成电路中，它的左下端有一个凹块标记，这用来指示左侧下端点第一根引脚为①脚，然后从①脚开始逆时针方向沿集成电路的一圈，各引脚依次排列，见图中的引脚分布示意图。

图 8-86b 所示双列集成电路中，它的左侧有一个半圆缺口，此时左侧下端点的第一根引脚为①脚，然后逆时针方向依次为各引脚，具体引脚分布见图中所示。

图 8-86c 所示是陶瓷封装双列直插集成电路，它的左侧有一个标记，此时左下方第一根脚为①脚，然后逆时针方向依次为各引脚，见图中引脚分布所示。注意，如果将这一集成电路的标记放到右边时，引脚识别方向就错了。

图 8-86d 所示双列集成电路中，它的引脚被散热片隔开，在集成电路的左侧下端有一个黑点标记，此时左下方第一根引脚为①脚，也是逆时针方向依次为各引脚（散热片不算），见图中所示。



## 2. 双列曲插集成电路引脚分布规律及识别方法

如图 8-87 所示是双列曲插集成电路引脚分布示意图，它的特点是引脚在集成电路的两侧排列，每一列的引脚是曲插（如同单列曲插一样）。

将印有型号的一面朝上，且将型号正对着自己，这时集成电路的左侧有一个半圆缺口，此时左下方第一根引脚为①脚，逆时针方向依次为各引脚，见图中所示。在每一列中，引脚是依次排列的，如同单列的一样。

## 3. 无标记双列直插集成电路引脚分布规律及识别方法

如图 8-88 所示是无引脚识别标记的双列直插集成电路，它无任何明显的引脚识别标记，此时将印有型号一面朝着自己正向放置，左侧下端第一个引脚为①脚，逆时针方向依次为各引脚，见图中引脚分布所示。

上面介绍的几种双列集成电路外形仅是众多双列集成电路中的几种，除最后一种集成电路外，一般都有各种形式的明显引脚识别标记，指明第 1 根引脚的位置，然后逆时针方向依次为各引脚，这是双列直插集成电路的引脚分布规律。

## ★8.2.19 四列集成电路引脚分布规律及识别方法

四列集成电路的引脚分成四列，且每列的引脚数相等，所以这种集成电路的引脚是 4 的倍数。四列集成电路主要常见于贴片式集成电路和大规律集成电路、数字集成电路中，如图 8-89 所示是四列集成电路引脚分布示意图。

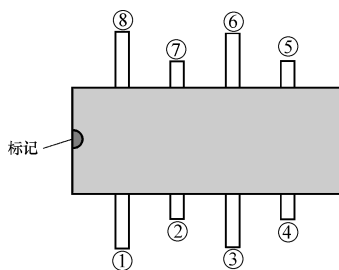


图 8-87 双列曲插集成电路引脚分布示意图

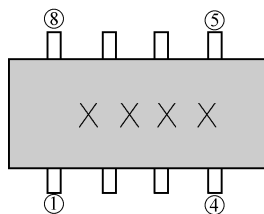


图 8-88 无引脚识别标记双列直插集成电路引脚分布示意图

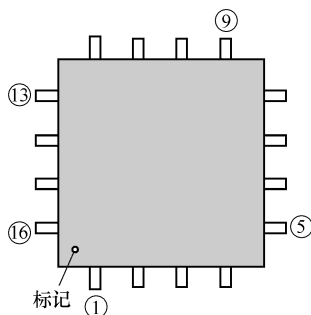


图 8-89 四列集成电路引脚分布示意图

将四列集成电路正面朝上，且将型号朝着自己，这时集成电路的左下方有一个标记，此时左下方第一根引脚为①脚，然后逆时针方向依次为各引脚，见图中引脚分布所示。如果集成电路左下方没有这一引脚识别标记，将集成电路如同图示一样放好，即印有型号面朝上，且正面对自己，此时左下角的为①脚。



### 重要提示

这种四列集成电路许多是贴片式的，其实这种集成电路是有引脚的，只是很短，引脚不伸到电路板的背面，所以这种集成电路直接焊在印制电路这一面上，引脚直接与铜箔线路相焊接。

## ★8.2.20 金属封装和反向分布集成电路引脚分布规律及识别方法

### 1. 金属封装集成电路引脚分布规律及识别方法

采用金属封装的集成电路现在已经比较少见，过去生产的集成电路常用这种封装形式。如图 8-90 所示是金属封装集成电路的引脚分布示意图。这种集成电路的外壳是金属圆帽形的，此时集成电路的引脚识别方法是：将引脚朝上，从突出键标记端起为①脚，顺时针方向依次为各引脚，见图



中引脚分布所示。

## 2. 反向分布集成电路引脚分布规律及识别方法解说

前面介绍的集成电路引脚分布规律和识别方法均为引脚正向分布的集成电路，即引脚是从左向右依次分布，或从左下方第 1 根引脚逆时针方向依次分布各引脚，集成电路的这种引脚分布为正向分布，集成电路引脚还有反向分布的。

1) 引脚反向分布的单列集成电路。对于反向分布的单列集成电路而言，当集成电路型号一面正向对着自己，引脚朝下时第 1 根引脚在最右下方，从右向左依次分布各引脚，这一分布规律恰好与正向分布的单列集成电路相反。

2) 引脚反向分布的双列集成电路。对于反向分布的双列集成电路而言，当集成电路型号一面朝上，且正向对着自己，引脚朝下时第 1 根引脚在左侧上方（即引脚正向分布双列集成电路的最后一根引脚），顺时针方向依次分布各引脚，这一引脚分布规律与引脚正向分布的双列集成电路相反。

引脚正向、反向分布规律可以从集成电路型号上可以看出，例如音频功放集成电路 HA1366W 引脚为正向分布，HA1366WR 引脚为反向分布，它们的不同之处是在型号最后多一个大写字母 R，R 表示这一集成电路的引脚为反向分布。

像 HA1366W 和 HA1366WR 这样引脚正、反向分布的集成电路，其中内电路结构、性能参数相同，只是引脚分布相反。HA1366W 的第一根引脚为 HA1366WR 的最后一根引脚，HA1366W 的最后一根引脚为 HA1366WR 的第一根引脚。

同型号的正向、反向集成电路之间若进行直接代替时，对于单列直插集成电路可以反个方向装入即可，对于双列集成电路则要将换上的集成电路装到电路板的背面。

## ★8.2.21 石英晶体振荡器和陶瓷滤波器引脚识别方法

### 1. 石英晶振引脚识别方法

无源石英晶振只有两根引脚，无正负之分。有源石英晶振有四根引脚，有个点标记的为 1 脚，如图 8-91 所示，引脚朝下后按逆时针分别为 2、3、4 脚。有源晶振通常的接法是：1 脚悬空，2 脚接地，3 脚输出信号，4 脚接直流工作电压。

#### 重要提示

正方形的有源晶振采用 DIP-8 封装，有色点的是①脚，各引脚顺序按集成电路的识别方法。①脚是空，④脚是地，⑤脚是输出，⑧脚是电源。

长方形的有源晶振采用 DIP-14 封装，有色点的是①脚，各引脚顺序按集成电路的识别方法。①脚是空，⑦脚是地，⑧脚是输出，⑭脚是电源。

### 2. 四根引脚陶瓷滤波器引脚识别方法

如图 8-92 所示是四根引脚陶瓷滤波器引脚识别方法示意图，①脚是信号输入端，②脚和③脚接地，④脚是信号输出端。

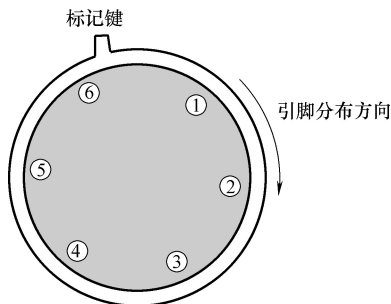


图 8-90 金属封装集成电路引脚分布示意图



图 8-91 有源石英晶振色点标记示意图

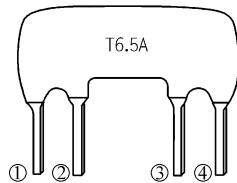


图 8-92 四根引脚陶瓷滤波器引脚识别方法



### ★8.2.22 两种驻极体电容传声器引脚识别方法

#### 1. 两根引脚驻极体电容传声器引脚识别方法

如图 8-93 所示是两根引脚驻极体电容传声器引脚识别方法示意图, ①脚是电源引脚和输出引脚, ②脚是接地引脚。



#### 重要提示

在驻极体电容传声器引脚识别中要注意背面接线图与内电路图之间引脚关系, 这是驻极体电容传声器引脚接外电路的重要依据。

#### 2. 三根引脚驻极体电容传声器引脚识别方法

如图 8-94 所示是三根引脚驻极体电容传声器引脚识别方法示意图, ①脚是电源引脚, ②脚是输出引脚, ③脚是接地引脚。

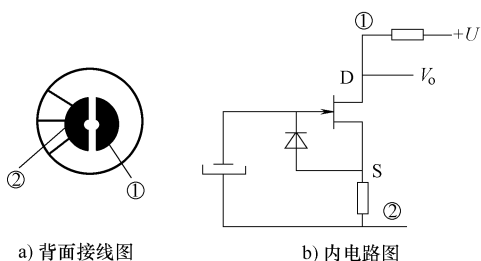


图 8-93 两根引脚驻极体电容传声器引脚识别方法

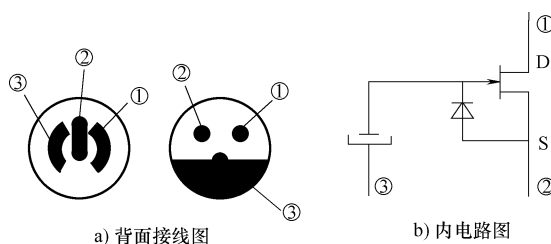


图 8-94 三根引脚驻极体电容传声器引脚识别方法

### ★8.2.23 直流有刷电机引脚、转速、转向和稳速类型识别方法

#### 1. 直流有刷电机引脚识别方法

直流有刷电机引脚共有下列 3 种方式:

1) 采用双股并行胶合线, 一根为红色, 另一根为白色, 其中红色的为正电源引线, 白色线是接地引线。

2) 采用屏蔽线作为电机的引线, 此时芯线为正电源引脚, 金属网线为接地引线。

3) 采用小块电路板作为接线端, 板上印出“+”、“-”标记, 这是电源极性标记。双速电机通常采用这种表示方式, 另两根引脚没有标记是转速控制引脚, 这两根引脚不分极性。

#### 2. 识别单速和双速直流有刷电机方法

识别单速还是双速电机的方法是: 如果电机只有两根引脚, 说明这是单速电机。如果电机有四根引脚, 则说明是双速电机。

#### 3. 识别是否是稳速电机方法

对于小型直流电机 (直径只有 5 分硬币大小), 其内部不设稳速电机, 它的稳速电路设在整机电路中; 对于其他电机, 可以通过测量电机两根引脚之间电阻来分辨, 测量的电阻大于十几  $\Omega$  时, 说明该电机是电子稳速电机。

#### 4. 识别稳速类型方法

识别直流电机是机械稳速还是电子稳速的方法是: 万用表的  $R \times 1$  挡, 测量电机两根引脚之间的直流电阻, 测得电阻小于十几  $\Omega$  的是机械稳速电机, 测得阻值大于十几  $\Omega$  的是电子稳速电机。

双速电机都是采用的电子稳速方式。如果直流电机外壳背面如果有一个小圆孔, 如图 8-95 所示, 说明这是电子稳速电机。

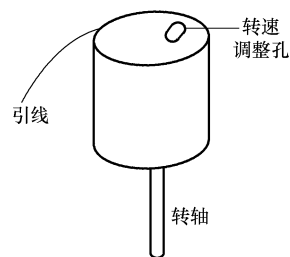


图 8-95 直流电机外壳背面的调速孔示意图



5. 识别直流电机转向方法

看电机铭牌上的标记，标出 CW 的是顺时针方向转动的直流电机，即手拿直流电机，转轴对着自己，此时转轴顺时针方向转动。如果是 CCW 则说明是逆时针方向转动的直流电机。如果是双向直流电机则用 CW/CCW 表示。

如果没有这样的标记，可以给电机通电，通过观察转轴的转动方向来分辨。

★8.2.24 波段开关引脚识别方法、双声道插头和插座引脚识别方法

1. 波段开关引脚识别方法

如图 8-96 所示是一种波段开关外形示意图，操纵柄为旋转式，转动一格为一个波段，依据这个示意图可以识别各引脚。

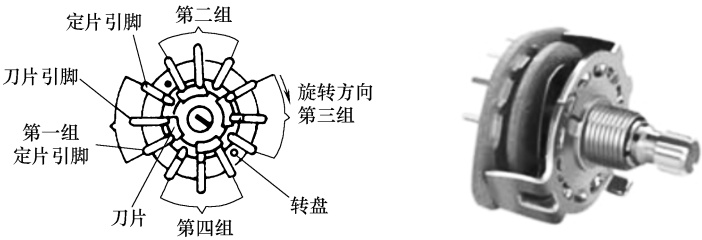


图 8-96 一种波段开关外形示意图

2. 双声道插头和插座引脚识别方法

如图 8-97 所示是双声道插头插座引脚识别方法示意图。从实物图中可以看出，双声道插头、插座与单声道插头、插座十分相似，只是引脚数目不同。双声道插座上共有 5 根引脚，双声道插头共有三个触点，引出 3 根引线。

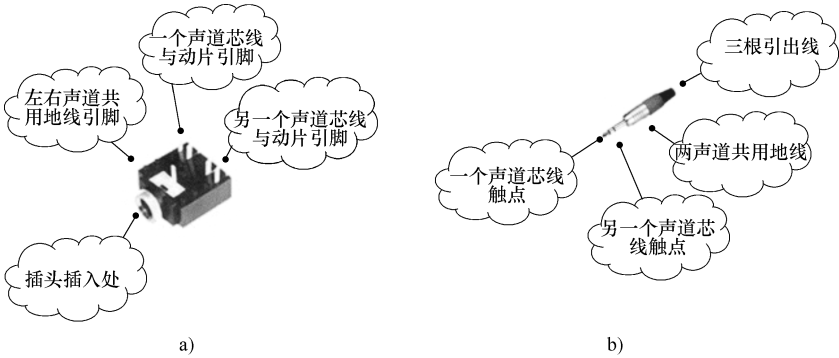


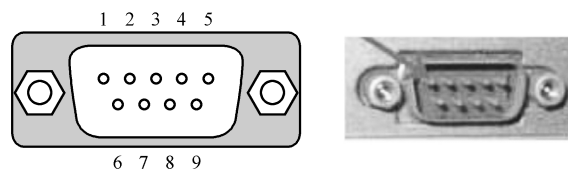
图 8-97 双声道插头插座引脚识别方法

★8.2.25 电脑接口引脚识别方法

计算机配件都是通过一定的接口和计算机连接的，例如鼠标一般是通过 USB 或者 PS/2 接口和计算机连接，识别这些接口的引脚对使用这些接口非常重要。

1. 串行接口

如图 8-98 所示是串行接口示意图。串口叫做串行接口，也就是 COM 接口。

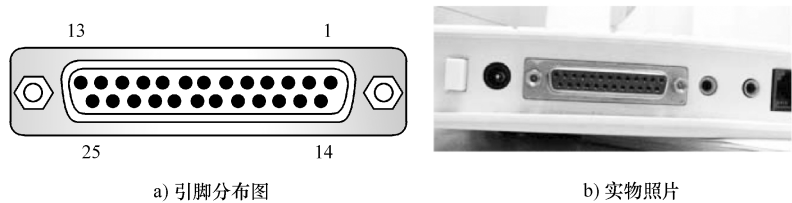


| 引 脚 | 符 号 | 作 用        | 引 脚 | 符 号 | 作 用   |
|-----|-----|------------|-----|-----|-------|
| 1   | DCD | 数据载波检测     | 6   | DSR | 数据准备好 |
| 2   | RXD | 接收数据       | 7   | RTS | 请求发送  |
| 3   | TXD | 发送数据       | 8   | CTS | 清除发送  |
| 4   | DTR | 数据终端设备准备就绪 | 9   | RI  | 铃声指示  |
| 5   | GND | 信号地线       |     |     |       |

图 8-98 串行接口示意图

2. 并行接口

如图 8-99 所示是并行接口示意图。并行接口简称并口，也就是 LPT 接口，是采用并行通信协议的扩展接口。并口的数据传输率比串口快 8 倍，标准并口的数据传输率为 1bit/s，一般用来连接打印机、扫描仪等。所以并口又被称为打印口。



| 引脚 | 符号     | 作用   | 引脚 | 符号        | 作用   |
|----|--------|------|----|-----------|------|
| 1  | STROBE | 选通   | 14 | AUTOFEED# | 自动换行 |
| 2  | DATA0  | 数据 0 | 15 | ERR#      | 错误   |
| 3  | DATA1  | 数据 1 | 16 | INIT#     | 初始化  |
| 4  | DATA2  | 数据 2 | 17 | SLIN#     | 选择输入 |
| 5  | DATA3  | 数据 3 | 18 | GND       | 地    |
| 6  | DATA4  | 数据 4 | 19 | GND       | 地    |
| 7  | DATA5  | 数据 5 | 20 | GND       | 地    |
| 8  | DATA6  | 数据 6 | 21 | GND       | 地    |
| 9  | DATA7  | 数据 7 | 22 | GND       | 地    |
| 10 | ACK#   | 确认   | 23 | GND       | 地    |
| 11 | BUSY   | 忙    | 24 | GND       | 地    |
| 12 | PE     | 缺纸   | 25 | GND       | 地    |
| 13 | SELECT | 选择   |    |           |      |

图 8-99 并行接口示意图

3. USB 接口

如图 8-100 所示是 USB 接口示意图。  
如图 8-101 所示是 USB 接口引脚分布示意图。

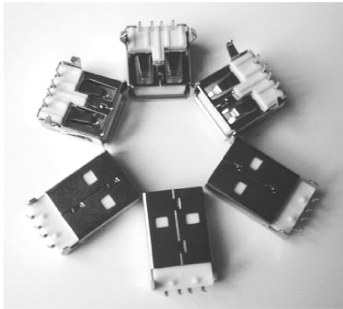


图 8-100 USB 接口示意图

目前的主板一般都采用支持 USB 功能的控制芯片组，主板上也安装有 USB 接口插座，如图 8-102 所示。



| 引脚 | 符号     | 作用 |
|----|--------|----|
| 1  | VCC    | 电源 |
| 2  | - DATA | 数据 |
| 3  | + DATA | 数据 |
| 4  | GND    | 地  |

图 8-101 USB 接口引脚分布示意图

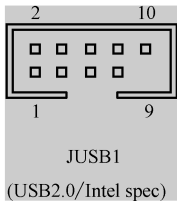
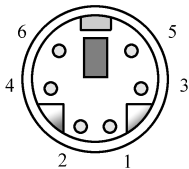


图 8-102 示意图

#### 4. PS/2 鼠标接口

如图 8-103 所示是鼠标接口示意图。



PS/2 Mouse(6-pin Female)

| 引脚 | 符号         | 作用  | 引脚 | 符号          | 作用     |
|----|------------|-----|----|-------------|--------|
| 1  | MOUSE DATA | 数据  | 4  | VCC         | 电源 +5V |
| 2  | NC         | 未连接 | 5  | MOUSE CLOCK | 时钟     |
| 3  | GND        | 地   | 6  | NC          | 未连接    |

图 8-103 鼠标接口示意图

#### 5. RJ45 接口

如图 8-104 所示是 RJ45（网线）接口示意图。

#### 6. 电源接口

如图 8-105 所示是电源插口示意图。

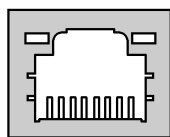
#### 7. 双 12V 电源插口

如图 8-106 所示是双 12V 电源插口示意图。

#### 8. 12V 和 5V 电源插口

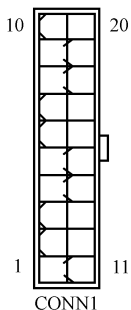
如图 8-107 所示是 12V 和 5V 电源插口示意图。





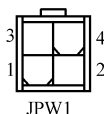
RJ-45 LAN Jack

图 8-104 RJ45（网线）接口示意图



| 引脚 | 符号    | 引脚 | 符号    |
|----|-------|----|-------|
| 1  | 3.3V  | 11 | 3.3V  |
| 2  | 3.3V  | 12 | -12V  |
| 3  | GND   | 13 | GND   |
| 4  | 5V    | 14 | PS_ON |
| 5  | GND   | 15 | GND   |
| 6  | 5V    | 16 | GND   |
| 7  | GND   | 17 | GND   |
| 8  | PW_OK | 18 | -5V   |
| 9  | 5V_SB | 19 | 5V    |
| 10 | 12V   | 20 | 5V    |

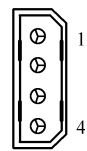
图 8-105 电源接口示意图



JPW1

| 引脚 | 符号  |
|----|-----|
| 1  | GND |
| 2  | GND |
| 3  | 12V |
| 4  | 12V |

图 8-106 双 12V 电源插口示意图



CONN2

| 引脚 | 符号  |
|----|-----|
| 1  | 5V  |
| 2  | GND |
| 3  | GND |
| 4  | 12V |

图 8-107 12V 和 5V 电源插口示意图



## 元器件自测题

在下列对的题号上打个“√”，错的题号上打个“×”，并加以更正。在画图题中按要求画电路，并作说明。

### 一、第一部分电阻器和电感器习题

1. 电子电路中使用量最大的元器件是电阻器。在常用元器件中，电阻器的特性最为“单纯”，变化不多。电阻器的种类很多的，普通电阻器是使用量最大的电阻器。

2. 电阻只能为电路提供交流电回路，或是只能为电路提供直流电回路，但是不能为直流和交流混合信号提供电流回路。

3. 电阻器使用中最为关心的是标称阻值，其次为误差。一只 100 kΩ 误差为 ±5% 的电阻器，如果测量它的阻值只有 97kΩ，那可以说明它已损坏。

4. 现在需要一只 100kΩ 误差为 ±5% 的电阻器，可以同时 E6、E12 和 E24 标称阻值系列选用。

5. 某贴片电阻器上标出 224 三个数字，它表示标称阻值为 220kΩ。另一贴片电阻器上标出 331 三个数字，它表示标称阻值为 330Ω。

6. 在直流或交流电路中电阻器对电流所起的阻碍作用一样。在交流电路中，同一个电阻器对不同频率信号所呈现的阻值则不相同。电阻器对正弦波信号、脉冲信号和三角波信号呈现的阻值也相同。

7. 最简单的电感线圈就是用导线空心地绕几圈，有磁心或铁心的电感器是在磁心或铁心上用导线绕几圈。固定电感器有两根引脚，它没有正、负引脚。

8. 一些微调线圈会出现磁心松动引起的电感量改变，这是因为磁心位置对电感量大小有影响。

9. 天线线圈分成一次和二次线圈两组。由于天线线圈中的电流频率很高，为了降低集肤效应的影响，一般中波天线线圈采用特制的多股纱包线来绕制，例如采用 7 股、9 股等，一次和二次线圈匝数不同外，股数也不同。

10. 至少写出 3 条电感器的特性。
11. 写出电感器感抗与频率、电感量之间的关系。
12. 画出电阻器、电感器的电路符号，画出天线线圈的电路符号。

## 二、第二部分电容器习题

1. 电容器最简单的一个电路作用是在交流和直流混合信号中，取出交流信号同时去掉直流信号，这是电容器的隔直通交特性。
2. 电容器的结构非常简单，两极板之间是绝缘的。电容器电路符号如果没有表示出引脚的正负极性，那说明该电容是无极性电容器。
3. 在采用 3 位数表示的电容器中，其容量单位是微微法。例如，某电容器上标注 681，它是 680pF。如果电容器采用 4 位数表示时，如某电容器上标注 6800，说明这只电容器的容量是 6800pF。
4. 电容器的容抗与频率、电容量大小相关。对于某一只电容而言，频率高容抗大，反之频率低容抗小。
5. 两只相同容量的电容并联后等于一只容量增大一倍的电容，两只相同容量的电容串联后等于一只容量减小一半的电容。两只耐压相同的电容无论是并联还是串联，其等效电容的耐压等于原电容耐压。
6. 电解电容可以有极性，也可以无极性，有极性电解电容使用时，正极电压要高于负极性电压，否则电容器性能将大幅下降，严重时还会损坏电容器。
7. 有极性电解电容器的电路符号上表示了它的两根引脚有极性之分，无极性电解电容的电路符号与普通的电容器电路符号一样，无极性标记。
8. 当两只有极性电解电容串联之后就成为一只无极性电容。当两只有极性电解电容并联运用时，一定要正极与正极相连，负极与负极相连。
9. 当有极性电解电容在电路中性接反后会爆炸，那是因为它的质量不好所致。
10. 对于大容量的电解电容器而言，工作频率越高其容抗越小。
11. 当怀疑电路板中某只电容漏电时，可以不拆下这只电容器，直接取一只相同容量和耐压相等的电容并联上去进行试验。
12. 直放式收音机中采用单联可变电容器，只有中波段的超外差式收音机中采用差容双联可变电容器，具有多波段的调幅超外差式收音机中采用等容双联可变电容器，具有调幅调频波段的超外差式收音机中使用四联可变电容器。
13. 画出 7 种电容器电路符号，并说明这些电容电路符号的意义。



14. 画出有极性电解电容的逆串联电路, 并说明这种逆串联电路有何意义。

15. 说说微调电容器和可变电容器有何不同。

### 三、第三部分晶体管习题

1. 晶体管有三根引脚, 这三根引脚之间不能互用。NPN 型晶体管是目前常用的晶体管, 它的发射极电流是从管内流出管外的, 集电极电流是从管外流入管内的, 基极电流也是从管外流入管内的。

2. NPN 型晶体管三个电极中, 基极电流远远小于集电极电流和发射极电流, 但是 PNP 型晶体管则相反, 三个电极电流中基极电流为最大。

3. 晶体管能将直流电源的电流按照输入电流信号的变化规律转换成相应的集电极电流和发射极电流, 由于集电极电流和发射极电流均远远大于基极电流, 所以晶体管具有放大信号的能力。

4. 晶体管有三个工作状态, 晶体管用于放大信号时必须工作在放大状态, 此时的晶体管工作电流比工作在饱和区状态时电流还要大。

5. 如果信号落到了晶体管的截止区或是饱和区, 信号将出现削顶失真, 这是一种严重的非线性失真, 在放大器中是不允许出现的, 合适的静态工作电流可以克服这一问题。

6. 低频晶体管用于高频电路时, 晶体管容易击穿, 所以低频晶体管是不能用于高频电路中的。

7. 当晶体管的集电极电流增大时, 集电极与发射极之间的内阻减小。当晶体管饱和时, 集电极与发射极之间的电压约为 0.2V, 这也是判断晶体管是否饱和导通的一个重要依据。

8. 当晶体管进入放大状态后, 发射结是处于导通状态的, 但是在饱和状态时发射结则处于截止状态。

9. 在晶体管进入放大状态后, 只要有集电极电流, 就必有发射极电流和基极电流, 没有基极电流就必然没有集电极电流和发射极电流。

10. 写出晶体管静态电流大小会影响电路的哪些方面。

11. 画出 5 种不同的晶体管电路符号, 并加以说明。

12. 画出 NPN 型晶体管的各电极电流方向。

### 答案

#### 一、第一部分习题答案

1. 对。

2. 错。也能提供电流回路。

3. 错。在 95 ~ 105k $\Omega$  范围内均为正常。

4. 错。只能在 E24 标称阻值系列中选用，因为 E24 标称阻值系列的误差为  $\pm 5\%$ ，其他标称阻值系列的误差均大。

5. 对。

6. 错。同一个电阻器对不同频率信号所呈现的阻值也相同。

7. 对。

8. 对。

9. 错。天线线圈一次和二次线圈股数相同。

## 二、第二部分知识习题答案

1. 对。

2. 对。

3. 对。

4. 错。频率高容抗小，反之频率低容抗大。

5. 错。并联后等于原电容耐压，串联后则增大一倍。

6. 对。

7. 对。

8. 错。还是有极性，只有在逆串联后才成为无极性。

9. 错。是因为有极性电容不能反向运用，是它的结构所决定的。

10. 对。

11. 错。对于怀疑电路板中电容开路故障时可以这样做。

12. 对。

## 三、第三部分习题答案

1. 对。

2. 错。PNP 型晶体管同 NPN 型晶体管一样，也是基极电流最小。

3. 对。

4. 错。饱和状态时的工作电流小于放大状态时的工作电流。

5. 对。

6. 错。由于低频晶体管特征频率低，当它工作在高频时放大倍数大幅下降，甚至放大倍数小于 1 而没有放大能力。

7. 对。

8. 错。饱和状态时发射结也处于导通状态。

9. 对。

阅读完成时间：\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日，用时\_\_\_\_\_天。

签 名：\_\_\_\_\_

阅读体会：（请写 10 个收获最大的知识点关键词）

阅读困惑：（请写 10 个最难理解的知识点关键词）

# 第 9 章

## 图文详解串联、并联、分压RCL单元电路

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！



### 重要提示

串联电路、并联电路和分压电路是电子电路中最为基本的单元电路。

RCL 电路是电子电路中最为基础的单元混合电路。

### 9.1

### 图解串联电路

本节阅读建议：精细阅读，必要时反复阅读，全面掌握串联电路工作原理。

本节难度系数：5 级。在掌握了元器件主要特性后阅读难度会下降。串联电路的基础是电阻串联电路，其他串联电路工作原理理解时要结合元器件的特性。

本节记忆系数：9 级。在理解的基础上更容易记忆，切不可死记硬背。



### 分析提示

无论电路千变万化，也无论电路如何的复杂，对电路工作原理的分析和理解是一层层展开的，展开到最后的电路就是两种：一是串联电路，二是并联电路。

通俗地讲，在电子线路工作原理分析之中，串联电路和并联电路就相当于框架大楼中的框架部分，是支撑起整栋大楼的基础。所以，串联电路和并联电路是各种电路的最基础电路。真正掌握了串联和并联电路之后，能够灵活运用串联和并联电路的基本特性，这时的电路分析就会显得比较简单和轻松。

#### ★9.1.1 图解电阻串联电路



### 重要提示

两个或多个电阻器头尾相串接起来的电路称为电阻串联电路，串联电路中没有支路。

如图 9-1 所示是电阻串联电路示意图。电阻串联电路是一切形式串联电路的基础，深度掌握电阻串联电路重要特性，对分析各种形式串联电路工作原理有着举足轻重的影响。

#### 1. 电阻串联电路总电阻越串联越大

电阻串联电路的总电阻越串联越大，总电阻等于各串联电阻阻值之和。串联电路中电阻一个个串联起来，电流要流过每一个电阻，而每一个电阻对电流都起着阻碍作用，串联的电阻越多对电流

的阻碍作用越大，所以电阻串联电路的总电阻越串联越大。



### 重要提示

串联电路总电阻  $R$  计算分式：串联电路的总电阻  $R = R_1 + R_2 + R_3 \dots\dots$

如图 9-2 所示是总电阻公式理解示意图。

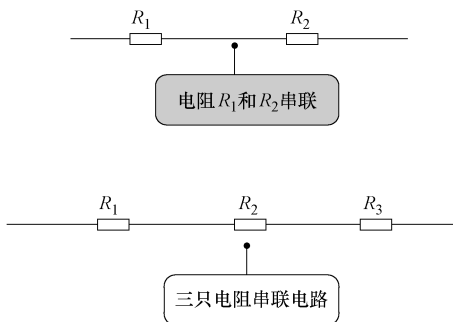


图 9-1 电阻串联电路示意图

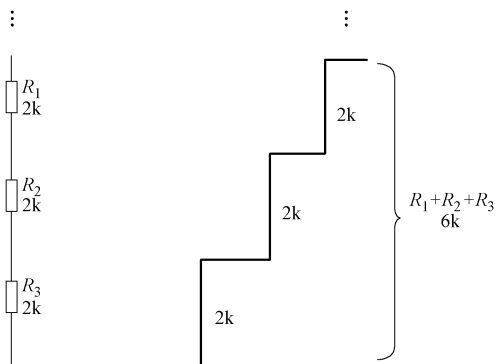


图 9-2 总电阻公式图解示意图

## 2. 电阻串联电路的等效电路



### 重要提示

电阻串联电路可以等效成一只电阻，分析电路过程中时常需要这种等效理解，再复杂的串联电路都可以进行这样的等效理解，这种等效有益于串联电路的工作原理理解。

如图 9-3 所示是电阻串联电路的等效理解方法示意图，如果几只电阻串联，整个串联电路都可以等效成一只电阻。

## 3. 串联电路中电流处处相等

这里用水管中水的流动来形象说明电阻串联电路中的电流流动。如图 9-4 所示是水管中水的流动示意图，水管垂直放置无法储水，所以流入多少水必流出多少水。

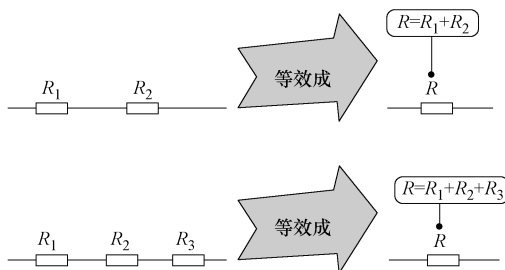


图 9-3 电阻串联电路的等效理解方法示意图



### 重要提示

在电阻串联电路中，流过电路中的每一点、每一个元器件的电流是相等的，这是电阻串联电路的特性。在其他元器件构成的串联电路中，无论参与串联的元器件如何，流过各元器件的电流也相等。

如图 9-5 所示是电阻串联电路中电流处处相等示意图。

掌握电阻串联电路中电流处处相等特性的重要性体现在两个方面：

- 1) 电路分析时，知道流过串联电路中一只元器件电流大小及特性，可以推理出流过其他所有串联电路中元器件的电流特性，方便了电路分析。
- 2) 电路故障推理时，当检测到串联电路中某只元器件没有电流流过时，可以推理出整个串联电路中没有电流流动，方便了故障检修。

## 4. 串联电路分析中抓住主要元器件

电路分析中抓住电路中的主要作用元器件很重要，可以实现事半功倍之效果。



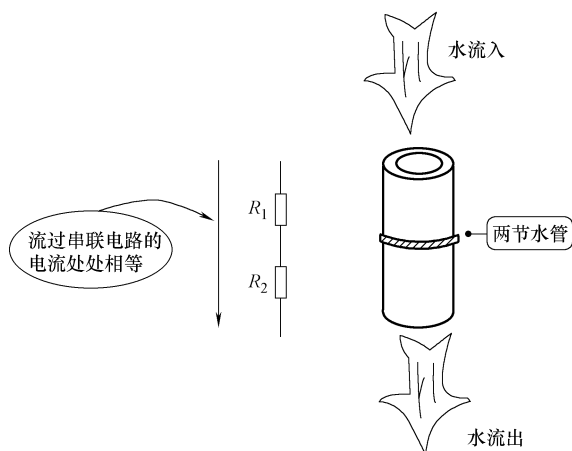


图 9-4 水管中水的流动示意图

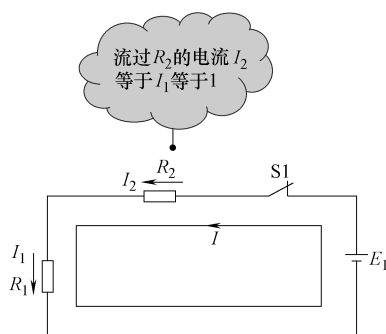


图 9-5 电阻串联电路中电流处处相等示意图

### 分析提示

分析电阻串联电路中，如果哪只电阻的阻值远大于其他电阻的阻值，那么阻值大的电阻在这一电阻串联电路中起主要作用，是电路分析中的关键元器件。

如图 9-6 所示是电阻串联电路中起主要作用元器件的示意图。电阻  $R_1$  起主要作用可以从下列几个方面理解：

- 1) 它的阻值大小变化对整个串联电路总阻值影响大。
- 2) 它的阻值大小基本上决定了串联电路中的电流大小。
- 3) 它两端的电压降远大于其他电阻上的电压降。

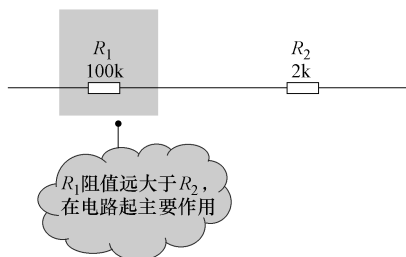


图 9-6 电阻串联电路中起主要作用元器件的示意图

## ★9.1.2 图解电容串联电路

电阻器之外的其他电子元器件也可以构成丰富多彩的串联电路。

### 1. 电容串联电路

只有电容的串联电路称为纯电容串联电路，如图 9-7 所示是纯电容串联电路。纯电容串联电路是串联电路的一种，所以它与电阻串联电路有着许多的共性，但是电容与电阻的特性不同，所以纯电容串联电路与电阻串联电路的特性也有所不同，不同的根本原因是电容特性与电阻特性不同。

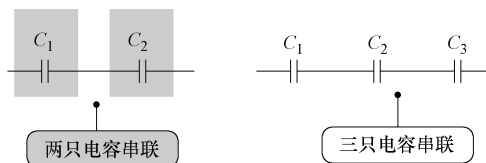


图 9-7 纯电容串联电路示意图

### 2. 电容串联电路中交流电流处处相等

### 重要提示

由于电容不能让直流电流通过，所以电容串联电路也不能让直流电流通过，只有交流电流，而且流过串联电路中的各电容交流电流相等。

如图 9-8 所示是电容串联电路交流电流处处相等特性示意图。分析电容电路的电流流动时，采用等效理解方法，即理解成交流电流直接从电容的一根引脚通过电容内部流到另一根引脚。

### 3. 电容越串联总容量越小总容抗越大

电容串联电路的总电容小于串联电路中任何一只电容的容量，如图 9-9 所示是电容串联电容总

容量减小示意图。

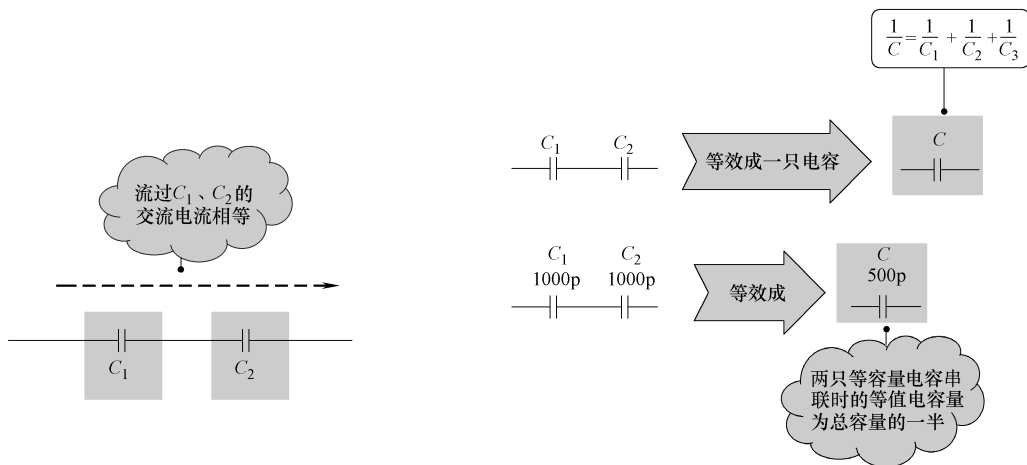


图 9-8 电容串联电路交流电流处处相等特性示意图

图 9-9 电容串联电容总容量减小示意图

#### 4. 电容串联电路中小电容起主要作用

如图 9-10 所示是小电容在串联电路中起主要作用示意图。串联电路中，由于流过各电容的电流大小相等，所以容量小的电容首先被充满电和放完电。

#### 5. 有极性电解电容逆串联和顺串联电路

如图 9-11 所示是有极性电解电容逆串联和顺串联电路。

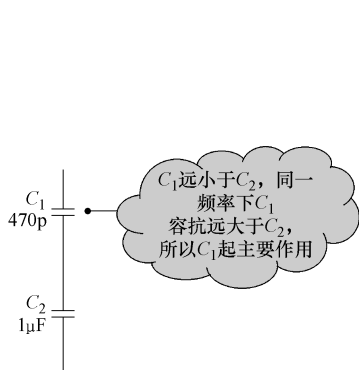


图 9-10 小电容在串联电路中起主要作用示意图

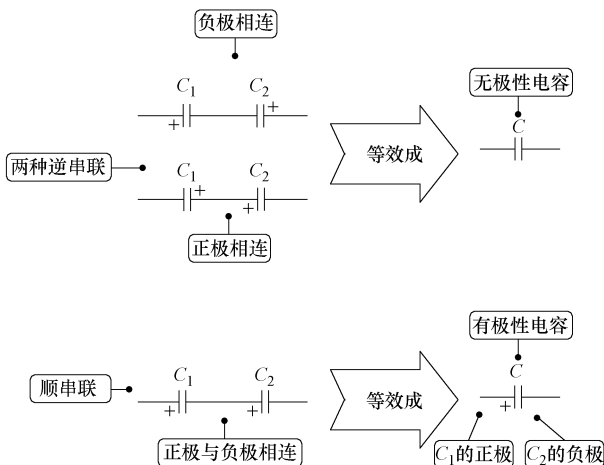


图 9-11 有极性电解电容逆串联和顺串联电路

#### 重要提示

有极性电解电容逆串联后成一只无极性电容，逆串联的目的主要是将有极性电解电容变成无极性电解电容。

有极性电解电容顺串联主要用于提高电容耐压上，在电子管电路中常使用这种串联电路。

#### 6. 电容串联电路的电阻等效方法

电容串联电路的分析可以进行电阻等效，其等效原理和理解方法与电容等效成电阻的一样，在特性频率下电容的容抗等效成一只特性的电阻。如图 9-12 所示是电容串联电路的电阻等效示意图。

### ★9.1.3 图解电感器串联电路

电感器串联电路在实用电路中很少，如图9-13所示是电感器串联电路，电感 $L_1$ 与 $L_2$ 串联。

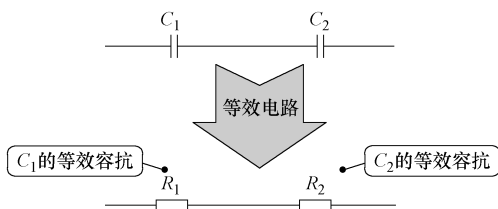


图 9-12 电容串联电路的电阻等效示意图



图 9-13 电感器串联电路

#### 1. 等效电感

电感器串联电路可以等效一只电感器，如图9-14所示，即 $L_1$ 和 $L_2$ 串联后等效成一只电感量为 $L$ 的电感器。

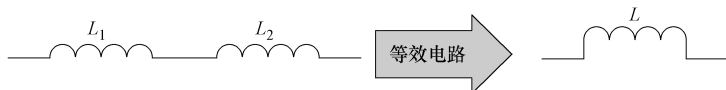


图 9-14 电感器串联等效电路

在各串联电感器之间不存在相互影响的前提下（各电感器之间磁路隔离），串联后的总电感量 $L$ 为各串联器的电感量之和，即：

$$L = L_1 + L_2 + \dots$$



#### 特性提示

从上述公式中可以看出，电感器越串联电感量越大，这一点与电阻器的串联特性相同。

#### 2. 串联电感电路特性

由于串联电感电路的等效电路仍然是一只电感器，所以这一电路的特性与电感器特性一样，例如能够通过直流电流，对交流电存在感抗特性等。

### ★9.1.4 图解直流电源串联电路

直流电源可以进行串联和并联使用，在采用电池供电的电子电器中通常是采用直流电源的串联方式，以提高直流工作电压，因为一节电池的电压通常只有1.5V。

电源并联是为了提高电源为外电路供给电流的能力，电源串联是为了提高电源供电电压。如图9-15所示是电池（直流电源）串联示意图。



一节电源正极与另一节电源负极相连

图 9-15 电池（直流电源）串联示意图

#### 1. 直流电源串联电路

如图9-16所示是直流电源串联电路，电路中的 $E_1$ 和 $E_2$ 是电池，它们串联起来。直流电源串联后的总电压等于各直流电源电压之和，即总电压 $E = E_1 + E_2$ 。

图9-16b所示电路是多个电池串联时的电路符号示意图，图中标出 $1.5V \times 6$ ，说明是6节1.5V电池串联，所以这一电源串联电路总电压为9V。

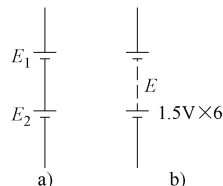


图 9-16 直流电源串联电路

#### 2. 几点说明

1) 在采用电池供电的电子电器中，由于电池电压比较低，不符

合电子电器整机直流工作电压的需要，所以要采用这种电源串联的方式，得到所需用的直流工作电压。

2) 直流电源串联时，直流电源是有极性的，正确连接方式是一个直流电源的正极与另一个直流电源的负极相连接，若接错不仅没有正常的直流电压输出，还会短路电源，造成电源的短路故障，损坏电源。

3) 为了获得更高的直流工作电压，可以采用直流电源串联电路。如果两个直流电源的直流工作电压大小不同，也可以进行串联。流过各个串联电源的电流相等。

### ★9.1.5 图解二极管串联电路

#### 1. 二极管简易直流稳压电路

二极管简易稳压电路主要用于一些局部的直流电压供给电路中，由于电路简单，成本低，所以应用比较广泛。

二极管简易稳压电路中主要利用二极管的管压降基本不变特性。



#### 特性友情提示

二极管的管压降特性：二极管导通后其管压降基本不变，对硅二极管而言这一管压降是 0.6V 左右，对锗二极管而言是 0.2V 左右。

如图 9-17 所示是由 3 只普通二极管构成的简易直流稳压电路。电路中的  $VD_1$ 、 $VD_2$  和  $VD_3$  是普通二极管，它们串联起来后构成一个简易直流电压稳压电路。

电路中，3 只二极管在直流工作电压的正向偏置作用下导通，导通后对这一电路的作用是稳定了电路中 A 点的直流电压。

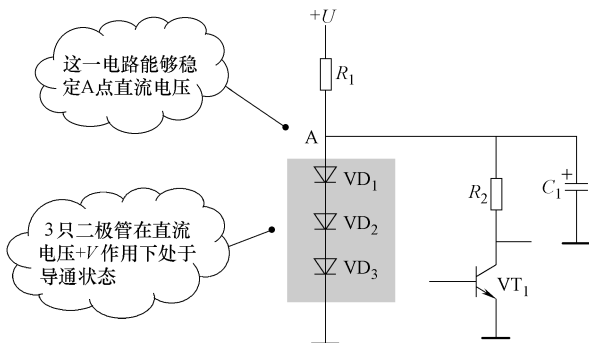


图 9-17 3 只普通二极管构成的简易直流稳压电路



#### 重要提示

众所周知，二极管内部是一个 PN 结的结构，PN 结除单向导电特性之外还有许多特性，其中之一是二极管导通后其管压降基本不变，对于常用的硅二极管而言导通后正极与负极之间的电压降为 0.6V。

根据二极管的这一特性，可以很方便地分析由普通二极管构成的简易直流稳压电路工作原理。3 只二极管导通之后，每只二极管的管压降是 0.6V，那么 3 只串联之后的直流电压降是  $0.6 \times 3 = 1.8V$ 。

如图 9-18 所示是三只二极管导通电流回路示意图。

#### 2. 二极管限幅电路



#### 特性友情提示

二极管最基本的工作状态是导通和截止两种，利用这一特性可以构成限幅电路。所谓限幅电路就是限制电路中某一点的信号幅度大小，让信号幅度大到一定程度时，不让信号的幅度再增大，当信号的幅度没有达到限制的幅度时，限幅电路不工作，具有这种功能的电路称为限幅电路，利用二极管来完成这一功能的电路称为二极管限幅电路。

如图 9-19 所示是二极管限幅电路。在电路中， $A_1$  是集成电路（一种常用元器件）， $VT_1$  和  $VT_2$  是晶体管（一种常用元器件）， $R_1$  和  $R_2$  是电阻器， $VD_1 \sim VD_6$  是二极管。

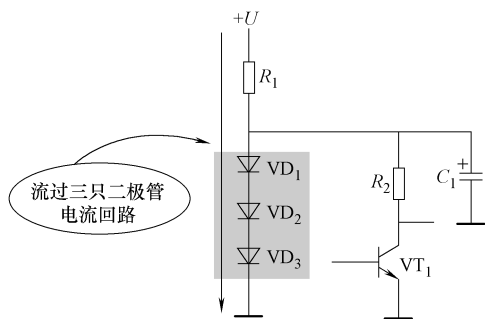


图 9-18 三只二极管导通电流回路示意图

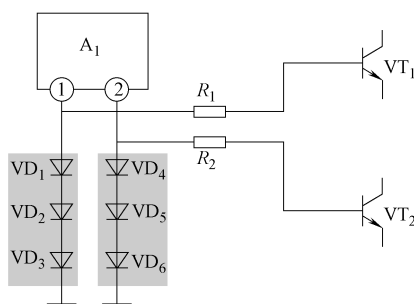
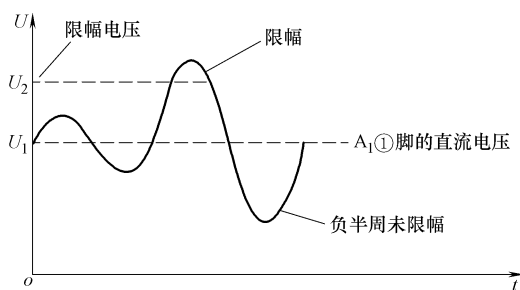


图 9-19 二极管限幅电路

用画出信号 waveform 的方法分析电路工作原理有时相当管用，用于分析限幅电路尤其有效，如图 9-20 所示是电路中集成电路  $A_1$  的①脚上信号波形示意图。

图中， $U_1$  是集成电路  $A_1$  的①脚输出信号中的直流电压，①脚输出信号中的交流电压是“骑”在这一直流电压上的。 $U_2$  是限幅电压值。

结合上述信号波形来分析这个二极管限幅电路，当集成电路  $A_1$  的①脚输出信号中的交流电压比较小时，交流信号的正半周加上直流输出电压  $U_1$  也没有达到  $VD_1$ 、 $VD_2$  和  $VD_3$  导通的程度，所以各二极管全部截止，对①脚输出的交流信号没有影响，交流信号通过  $R_1$  加到  $VT_1$  中。

图 9-20 集成电路  $A_1$  的①脚上信号波形示意图

假设集成电路  $A_1$  的①脚输出的交流信号其正半周幅度在某期间很大，见图中的信号波形，由于此时交流信号的正半周幅度加上直流电压已超过二极管  $VD_1$ 、 $VD_2$  和  $VD_3$  正向导通的电压值，如果每只二极管的导通电压是 0.7V，那么 3 只二极管的导通电压是 2.1V。由于 3 只二极管导通后的管压降基本不变，即集成电路  $A_1$  的①脚最大为 2.1V，所以交流信号正半周超出部分被去掉（限制），其超出部分信号其实降在了集成电路  $A_1$  的①脚内电路中的电阻上（图中未画出）。



#### 分析提示

当集成电路  $A_1$  的①脚直流和交流输出信号的幅度小于 2.1V 时，这一电压又不能使 3 只二极管导通，这样 3 只二极管再度从导通转入截止状态，对信号没有限幅作用。

对于这一电路的具体分析细节说明如下：

1) 集成电路  $A_1$  的①脚输出的负半周大幅度信号不会造成  $VT_1$  过电流，因为负半周信号只会使 NPN 型晶体管的基极电压下降，基极电流减小，所以无须加入对于负半周的限幅电路。

2) 上面介绍的是单向限幅电路，这种限幅电路只能对信号的正半周或负半周大信号部分进行限幅，对另一半周信号不限幅。另一种是双向限幅电路，它能同时对正、负半周信号进行限幅。

3) 引起信号幅度异常增大的原因是多种多样的，例如偶然的因素（如电源电压的波动）导致信号幅度在某瞬间增大许多，外界的大幅度干扰脉冲窜入电路也是引起信号某瞬间异常增大的常见原因。

4) 3 只二极管  $VD_1$ 、 $VD_2$  和  $VD_3$  导通之后，集成电路  $A_1$  的①脚上的直流和交流电压之和是 2.1V，这一电压通过电阻  $R_1$  加到  $VT_1$  基极，这也是  $VT_1$  最高的基极电压，这时的基极电流也是  $VT_1$  最大的基极电流。

5) 由于集成电路  $A_1$  的①脚和②脚外电路一样，所以其外电路中的限幅保护电路工作原理一样，分析电路时只要分析一个电路即可。

6) 根据串联电路特性可知, 串联电路中的电流处处相等, 这样可以知道  $VD_1$ 、 $VD_2$  和  $VD_3$  三只串联二极管导通时同时导通, 否则同时截止, 绝不会出现串联电路中的某只二极管导通而某几只二极管截止的现象。

### 3. LED 功率电平指示器

功率电平指示器大多采用多级 LED (串联) 光柱式指示器电路, 有分立元器件构成的电路, 也有集成电路构成的电路。

如图 9-21 所示是某型号组合音响中的功率电平指示器, 图中只画出左声道电路, 右声道与此对称, 这是由分立元器件构成的三级 LED 光柱式电平指示器, 在组合音响功率电平指示器中较为常见。

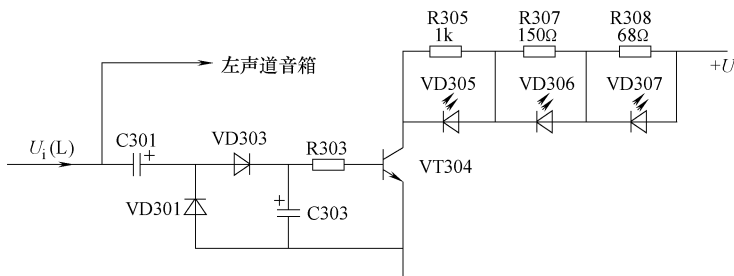


图 9-21 某型号组合音响中心功率电平指示器

$U_i(L)$  为左声道功率放大器输出端的音频功率信号, 它一方面送到左声道音箱中。另一方面经  $C301$  耦合到  $VD301$ 、 $VD303$  构成的倍压整流电路中。

音频信号经整流电路后转换成直流控制电压,  $C303$  为滤波电容。这一直流控制电压经  $R303$  加到  $VT304$  基极,  $VT304$  是三只 LED 的控制驱动管。

1) 没有  $U_i(L)$  信号时。 $VT304$  基极电压为 0V,  $VT304$  截止,  $R305$ 、 $R307$  和  $R308$  上无压降, 三只 LED 处于截止状态而不发光。

2)  $U_i(L)$  信号从零增大时。 $VT304$  基极有较小的电压, 便有集电极电流流过  $R305$ 、 $R307$  和  $R309$ 。由于  $R305$  的阻值最大 (1kΩ), 在  $R305$  上电压最大, 当  $R305$  上的电压降大于  $VD305$  的开启电压时,  $VD305$  导通、发光, 如图 9-22 所示是这一电流回路示意图。

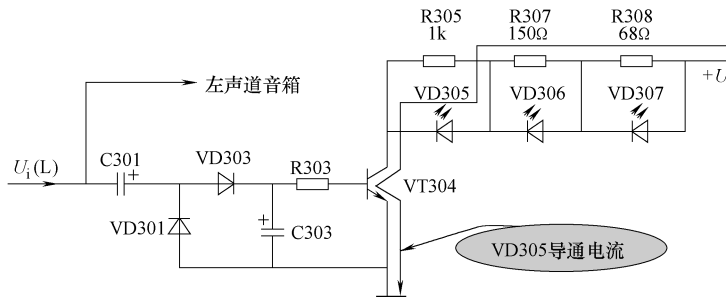


图 9-22  $VD305$  导通电流回路示意图

此时, 由于  $R307$ 、 $R309$  阻值小, 电阻两端压降小 (流过  $R305$ 、 $R307$  和  $R309$  的电流相等, 均为  $VT304$  的集电极电流), 故  $VD306$ 、 $VD307$  截止, 不发光。

3)  $U_i(L)$  信号进一步增大时。 $VT304$  集电极电流增大, 在三只集电极电阻上的压降也增大。当  $R307$  上的压降大到  $VD306$  的开启电压时,  $VD306$  也导通发光指示, 如图 9-23 所示是这一电流回路示意图, 由于这一电流也流过了  $VD305$ , 所以  $VD305$  仍然导通、发光。

如果  $U_i(L)$  信号再增大,  $R309$  上的压降也增大, 使  $VD307$  也发光指示。如图 9-24 所示是  $VD307$  导通电流回路示意图。



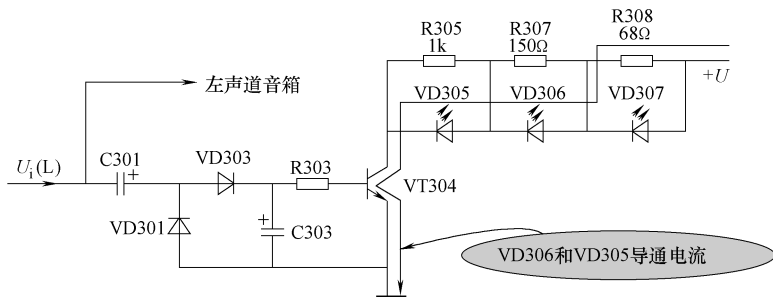


图 9-23 VD306 导通电流回路示意图

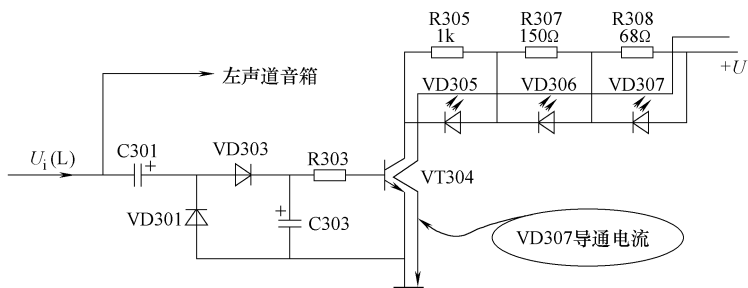


图 9-24 VD307 导通电流回路示意图

**特性提示**

从上面分析可知,这一电路让多级 LED 分级发光是靠 VT304 集电极回路中 R305、R307、R309 的阻值大小不等实现的。当发光二极管导通、发光后,它的正向压降约为  $1.7 \sim 3.1\text{V}$  不等,这样 VT304 集电极电流进一步增大时,流过电阻的电流不变,流过已导通 LED 的电流在增大,使 LED 更亮。这种多级 LED 光柱式电平指示器中的级数不宜太多,否则要求直流工作电压高。

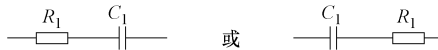
**★9.1.6 图解 RC 串联电路****重要提示**

由电阻  $R$  和电容  $C$  构成的电路称为阻容电路,简称  $RC$  电路,这是电子电路中十分常见的一种电路, $RC$  电路的种类和变化很多,必须认真学习,深入掌握。

如图 9-25 所示是  $RC$  串联电路, $RC$  串联电路由一个电阻  $R_1$  和一个电容  $C_1$  串联而成。在串联电路中,电容  $C_1$  在电阻  $R_1$  后面或在电阻  $R_1$  前面是一样的,因为串联电路中流过各元器件的电流相同。

**1. RC 串联电路电流特性**

1) 电流特性。由于有电容的存在,电路中是不能流过直流电流的,但是可以流过交流电流,所以这一电路用于交流电路中。

图 9-25  $RC$  串联电路

2) 综合特性。这一串联电路具有纯电阻串联和纯电容串联电路综合起来的特性。在交流电流通过这一电路时,电阻和电容对电流都存在着阻碍作用,其总的阻抗是电阻和容抗之和。

**特性提示**

电阻对交流电的电阻不变,即对不同频率的交流电其电阻不变,但是电容的容抗随交流电的频率变化而变化,所以这一  $RC$  串联电路总的阻抗是随频率变化而改变的。

## 2. RC 串联电路阻抗特性

如图 9-26 所示是 RC 串联电路的阻抗特性曲线, 图中 X 轴方向为频率, Y 轴方向为这一串联网络的阻抗。

从曲线中可看出, 曲线在频率  $f_0$  处改变, 这一频率称为转折频率, 这种 RC 串联电路只有一个转折频率  $f_0$ 。

(1) 输入信号频率  $f > f_0$  情况。如图 9-27 所示是输入信号频率高于转折频率时示意图, 当输入信号频率  $f > f_0$  时, 整个 RC 串联电路总的阻抗不变了, 其大小等于  $R_1$ , 这是因为当输入信号频率高到一定程度后, 电容  $C_1$  的容抗小到几乎为零, 这样对  $C_1$  的容抗可以忽略不计, 而电阻  $R_1$  的阻值是不随频率变化而变化的, 所以此时无论频率是否在变化, 总的阻抗不变而为  $R_1$ 。

在进行 RC 串联电路的阻抗分析时要将输入信号频率分成两种情况。

(2) 输入信号频率  $f < f_0$  情况。如图 9-28 所示是输入信号频率低于转折频率时示意图, 当输入信号频率  $f < f_0$  时, 由于交流电的频率低了, 电容  $C_1$  的容抗大了, 大到与电阻  $R_1$  的值相比较不能忽略的程度, 所以此时要考虑  $C_1$  容抗的存在。

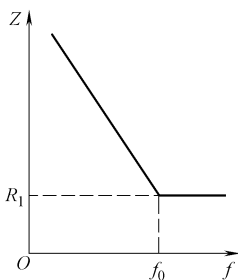


图 9-26 RC 串联电路的阻抗特性曲线

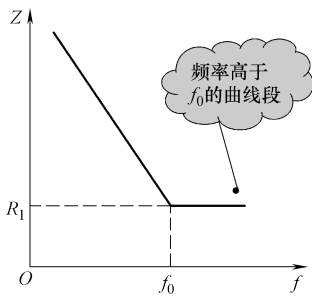


图 9-27 输入信号频率高于转折频率时示意图

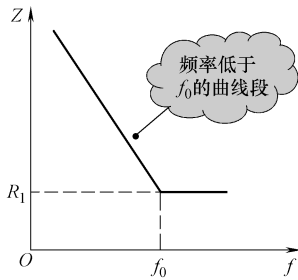


图 9-28 输入信号频率低于转折频率时示意图

当频率低到一定程度时  $C_1$  的容抗在整个 RC 串联电路中起决定性作用。

### 特性提示

从曲线中可看出, 随着频率的降低,  $C_1$  的容抗越来越大, 所以该 RC 电路总的阻抗是  $R_1$  和  $C_1$  容抗之和, 即是在  $R_1$  的基础上随频率降低, 这一 RC 串联电路的阻抗在增大。在频率为零 (直流电) 时, 该电路的阻抗为无穷大, 因为电容  $C_1$  对直流电呈开路状态。

如图 9-29 所示是这种 RC 串联电路转折频率示意图, 这一 RC 串联电路只有一个转折频率  $f_0$ , 计算公式如下:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

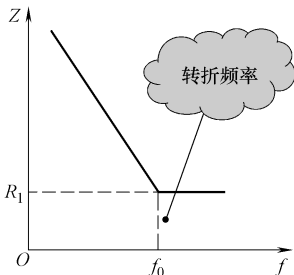


图 9-29 RC 串联电路转折频率示意图

当电容  $C_1$  的容量取得较大时, 转折频率  $f_0$  很小, 具体讲如果转折频率低于交流信号的最低频率, 则此时该串联电路对信号的总阻抗基本等于  $R_1$ , 在一些耦合电路中用到这种情况的 RC 串联电路。

### 特性提示

如果  $f_0$  不是低于交流信号的最低频率, 那么这种 RC 串联电路就不是用于耦合, 而是有其他用途了。



## 9.2 图解并联电路

本节阅读建议：精心阅读，必要时反复阅读，全面掌握并联电路工作原理。

本节难度系数：5级。在掌握了元器件主要特性后阅读难度会下降，在学习串联电路工作原理后阅读难度有所下降，但是许多理解方法与串联电路时相反，这一点要注意。并联电路的基础是电阻并联电路，其他并联电路工作原理理解时要结合元器件的特性。

本节记忆系数：9级。在理解的基础上更容易记忆，切不可死记硬背。与串联电路一起记忆相对容易一些。

### ★9.2.1 图解电阻并联电路

电阻并联电路是复杂电子电路的又一个基本电路，它与串联电路一起构成了复杂的电子电路。



#### 重要提示

电阻并联电路是并联电路的基础，掌握了电阻并联电路，通过等效理解可以分析其他元器件构成的并联电路工作原理。

两个或多个电阻器两根引脚相并接的电路称为电阻并联电路。

如图9-30所示是电阻并联电路示意图。

#### 1. 电阻并联电路总电阻越并联越小

电阻并联电路的总电阻越并联越小。

如图9-31所示是电阻并联电路总电阻越并联越小特性记忆方法。电阻并联电路同水管并接有相似之处，这种方法有助于理解和记忆电阻并联电路总电阻特性。

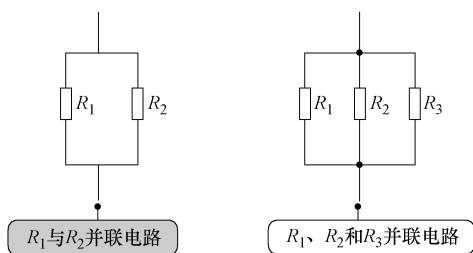


图9-30 电阻并联电路示意图

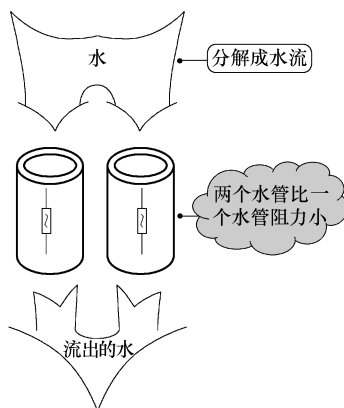


图9-31 并联电路总电阻越并联越小特性记忆方法

并联电路中电阻一个个并联起来，第一个电阻提供了一个电流通路，这样总电流大了，等效成总电阻小，所以电阻并联电路的总电阻越并联越小

总电阻计算公式：

并联电路的总电阻为  $R$ ， $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \cdots$

总电阻  $R$  的倒数等于各并联电阻的倒数之和。

电阻并联电路可以等效成一只电阻，是分析电路过程中时常需要这种等效理解，再复杂的并联电路都可以进行这样的等效理解，这种等效有时有益于并联电路工作原理的理解。如图9-32所示是电阻并联电路的等效理解示意图，如果几只电阻并联，整个并联电路可以等效成一只电阻。

## 2. 电阻并联电路总电流等于各并联支路电流之和

在并联电路中, 各支路电流之和等于回路中的总电流, 即总电流  $I = I_1 + I_2 \cdots$ , 如图 9-33 所示是电流示意图。

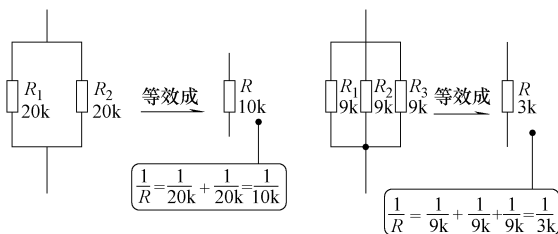


图 9-32 电阻并联电路的等效理解示意图

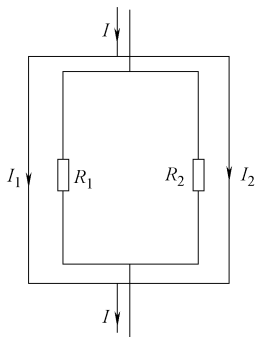


图 9-33 电流示意图

如图 9-34 所示是并联电路总电流等于各支路电流之和特性通俗记忆方法, 从水库的流出水量等于流入大海的水量, 等于两条大河的流量。

## 3. 并联电路中支路电阻大小与电流大小成反比

并联电路中每一支路的电流大小与该支路中阻值 (或阻抗) 的大小成反比, 阻值或阻抗大的支路其电流小。如图 9-35 所示是并联电路中支路电流与电阻之间关系示意图。

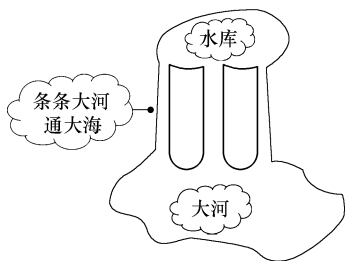


图 9-34 并联电路总电流等于各支路电流之和特性记忆方法

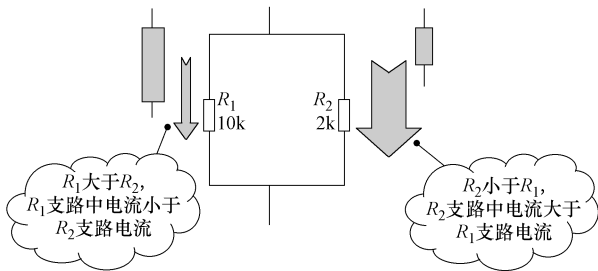


图 9-35 并联电路中支路电流与电阻之间关系示意图

### 重要提示

并联电路是一个分流电路, 将总电流分成多路的支路电流。

有更多的并联元器件时, 可以将总电流分成更多的支路电流, 只要适当选择各支路中元器件的阻值或阻抗大小, 便能各支路获得所需要的电流大小。

有电阻之外的元器件进行并联时, 也会根据元器件特性不同, 得到不同特性的并联电路。

## 4. 并联电路中电阻小的支路在电路中起主要作用

在电阻并联电路中, 如果某只电阻的阻值远小于其他电阻的阻值, 那么这个电阻支路在电路中起主要作用, 因为这一支路中的电流远大于其他支路中的电流, 对整个并联电路的总电流大小起决定性的作用。

### ★9.2.2 图解电容并联电路

如图 9-36 所示是电容并联电路。

### 1. 电容并联总容量越并越大

如图 9-37 所示是电容并联电路等效电路示意图, 它等效成一只容量更大的电容, 有极性电解电容只能正极与正极并接, 负极与负极并接。电容并联电路的总电容等于各电容之和, 电容越并联越大。

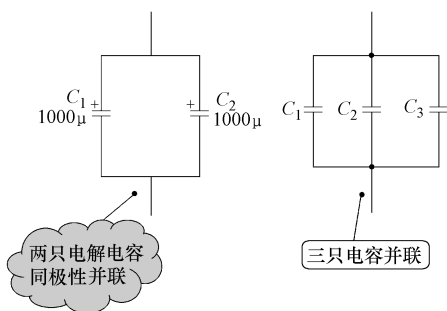


图 9-36 电容并联电路

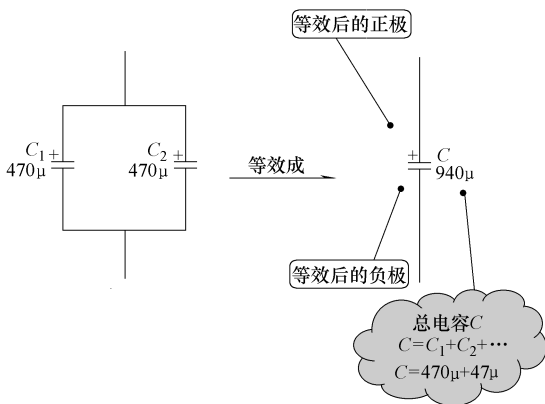


图 9-37 电容并联电路等效电路示意图

电容并联电路总电容  $C = C_1 + C_2 + \dots$

### 2. 电容并联电路其他特性

- 1) 不能通直流电。由于电容的隔直特性, 电容并联电路不能让直流电流流过。
- 2) 支路电流特性。容量大的支路中交流电流大, 因为容量大容抗小。
- 3) 大电容起主要作用。如果电容并联电路中某电容容量远大于其他电容的容量, 它在并联电路中起主要作用, 因为容量大容抗小。
- 4) 相同的电压特性。并联电路中各电容上的电压相等。

## ★9.2.3 图解电感并联电路

电感器并联电路在实用电路中很少, 如图 9-38 所示是电感器并联电路, 电感  $L_1$  与  $L_2$  并联。

### 1. 等效电感

电感器并联电路可以等效一只电感器, 如图 9-39 所示, 即  $L_1$  和  $L_2$  并联后等效成一只电感量为  $L$  的电感器。

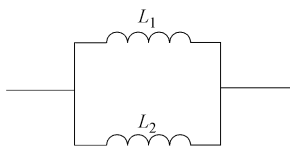


图 9-38 电感器并联电路

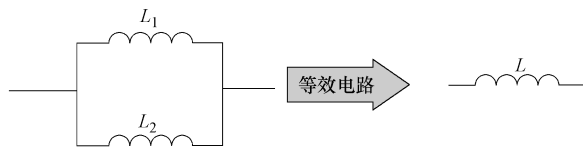


图 9-39 电感器串联等效电路

在各并联电感器之间不存在相互影响的前提下 (各电感器之间磁路隔离), 并联后的总电感量  $L$  倒数为各串联电感器的电感量倒数之和, 即:

$$1/L = 1/L_1 + 1/L_2 + \dots$$



### 特性提示

从上述公式中可以看出, 电感器越串联电感量越大, 这一点与电阻器的串联特性相同。

### 2. 并联电感电路特性

由于并联电感电路的等效电路仍然是一只电感器, 所以这一电路的特性与电感器特性一样, 例

如能够通过直流电流,对交流电存在感抗特性等。

### ★9.2.4 直流电源并联电路

#### 1. 直流电源并联电路

如图 9-40 所示是直流电源并联电路,电路中的  $E_1$  和  $E_2$  是电池,这两个电池的直流电压大小相等,它们并联起来。直流电源并联后的总电压等于某一个直流电源的电压。

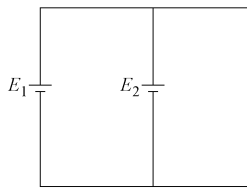


图 9-40 直流电源并联电路

#### 重要提示

直流电源的并联电路应用比较少,当电池的容量不足时,即电池所能输出的直流电流不能满足电路需要时,采用电池并联供电电路。

#### 2. 几点说明

- 1) 直流电源并联时,直流电源也是有极性的,正确连接方式是一个直流电源的正极接另一个直流电源的正极,它们的负极连接起来。
- 2) 直流电源并联电路能够增加电源的输出电流,不能增大电源的直流工作电压。
- 3) 流过各并联电池的电流之和等于电源外电路电流之和。
- 4) 不同直流电压大小的电池之间不能进行并联,否则直流电压高的电池会对直流电压低的电池进行充电,消耗了直流电压高的电池的电能。

### ★9.2.5 三端稳压集成电路并联运用电路

如图 9-41 所示是三端稳压集成电路并联运用电路。电路中的  $A_1$  和  $A_2$  是两块同型号三端稳压集成电路,要求两块集成电路性能一致,否则会在烧坏一块后继续烧坏另一块。

集成电路  $A_1$  为负载平均分担工作电流, $A_1$  和  $A_2$  为负载电路提供相同的工作电压。

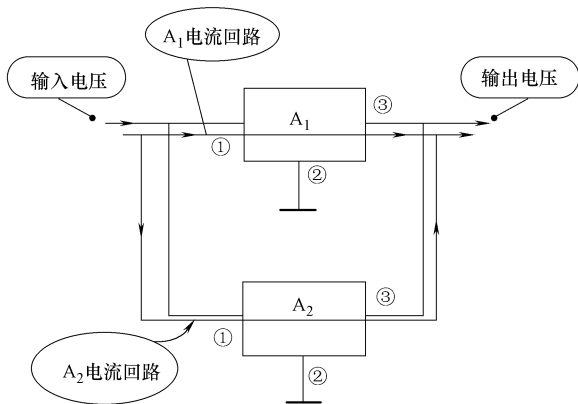


图 9-41 三端稳压集成电路并联运用电路

#### 重要提示

这一电路接在直流电路中时,直流电流只能流过电阻  $R_1$  而不能流过电容  $C_1$ 。

当这一电路接在交流电路中时, $R_1$  和  $C_1$  中都流过交流电流,具体电流大小要视  $R_1$ 、 $C_1$  容抗的相对大小而定,所以只讨论这一电路接在交流电路中的情况。

#### 1. 阻抗特性及转折频率

如图 9-43 所示是图 9-42  $RC$  并联电路的阻抗特性曲线,它也是只有一个转折频率  $f_0$ 。计算公式如下:





$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

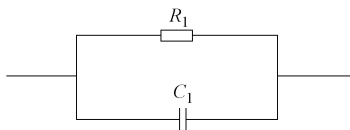


图 9-42 RC 并联电路

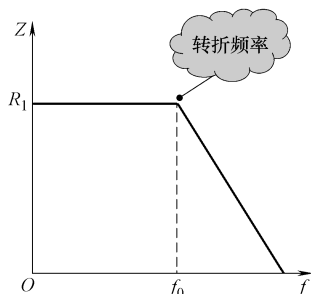


图 9-43 图 9-42RC 并联电路的阻抗特性曲线

从上式中可以看出,这一转折频率公式与串联电路的一样的。当电容  $C_1$  取得较大时,  $f_0$  很小,若转折频率小于信号的最低频率,则此时该电路对信号而言阻抗几乎为零,这种情况的 RC 并联电路在一些旁路电路中时常用到,如放大器电路中的发射极旁路电容。

### 2. 输入信号频率 $f > f_0$ 情况

如图 9-44 所示是输入信号频率高于转折频率时示意图,当输入信号频率  $f > f_0$  时,由于电容  $C_1$  的容抗随频率的升高而下降,此时  $C_1$  的容抗小到可以与  $R_1$  比较了,这样就要考虑  $C_1$  的存在。



#### 重要提示

在输入信号频率  $f$  高于转折频率  $f_0$  后,由于  $C_1$  与  $R_1$  的并联,其总的阻抗下降。当频率高到一定程度后,总的阻抗为零,如图中所示。

### 3. 输入信号频率 $f < f_0$ 情况

如图 9-45 所示是输入信号频率低于转折频率时示意图,当输入信号频率  $f < f_0$  时,由于电容  $C_1$  的容抗很大(与  $R_1$  相比很大)而相当于开路,此时整个电路的总阻抗等于  $R_1$ ,如图中所示。

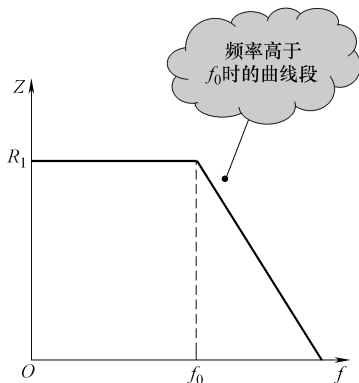


图 9-44 输入信号频率高于转折频率时示意图

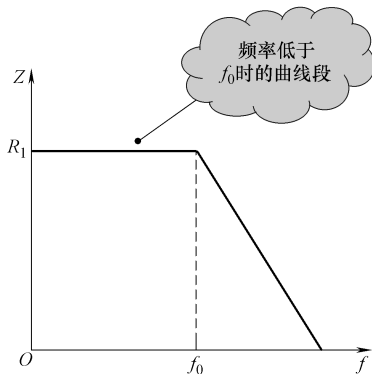


图 9-45 输入信号频率低于转折频率时示意图

## ★9.2.7 图解 RC 串并联电路阻抗特性

### 1. 典型 RC 串并联电路

如图 9-46 所示是一种 RC 串并联电路。电路中的  $R_2$  与  $C_1$  并联之后再与  $R_1$  串联。由于这一电路中有两只电阻  $R_1$  和  $R_2$  串联,所以该电路能够通过交流电流,同时也能通过直流电流。

## 2. RC 串并联电路

1) 阻抗特性及转折频率。如图 9-47 所示是 RC 串并联电路阻抗特性及转折频率示意图, 这一电路存在两个转折频率  $f_{01}$  和  $f_{02}$ , 这两个转折频率由下列公式决定:

$$f_{01} = \frac{1}{2\pi R_2 C_1}$$

$$f_{02} = \frac{1}{2\pi C_1 \times [R_1 \times R_2 / (R_1 + R_2)]}$$

2) 输入信号频率低于转折频率  $f_{01}$  情况。如图 9-48 所示是输入信号频率低于第一转折频率示意图, 当信号频率低于转折频率  $f_{01}$  时, 由于  $C_1$  的容抗很大, 即远比  $R_2$  的阻值大, 这样  $C_1$  相当于开路, 此时该电路总的阻抗为  $R_1 + R_2$ , 如图所示。

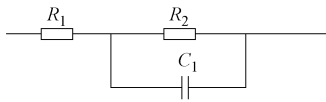


图 9-46 RC 串并联电路

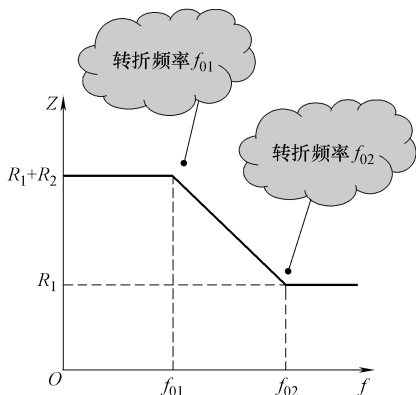


图 9-47 RC 串并联电路阻抗特性及转折频率示意图

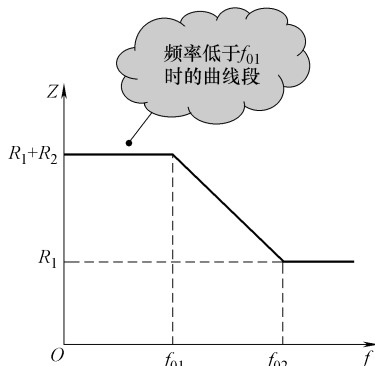


图 9-48 输入信号频率低于第一转折频率时示意图

3) 输入信号频率在高于转折频率  $f_{01}$  而低于  $f_{02}$  的频段内情况。如图 9-49 所示是输入信号频率在高于转折频率  $f_{01}$  而低于  $f_{02}$  的频段内情况示意图, 当信号频率在高于转折频率  $f_{01}$  而低于  $f_{02}$  的频段时, 由于  $C_1$  的容抗不是很大也不是很小, 即可以与  $R_2$  的阻值相比拟, 这样,  $C_1$  不能相当于开路也不能相当于短路, 此时该电路总的阻抗在  $R_1 + R_2$  和  $R_1$  之间变化, 随频率升高从  $R_1 + R_2$  降低到  $R_1$ , 如图所示。

4) 输入信号频率高于  $f_{02}$  情况。如图 9-50 所示是输入信号频率高于  $f_{02}$  情况时示意图, 当信号频率高于转折频率  $f_{02}$  时, 由于  $C_1$  的容抗很小, 小到为零的程度, 这样,  $C_1$  将  $R_2$  短接, 此时该电路总的阻抗为  $R_1$ , 如图所示。

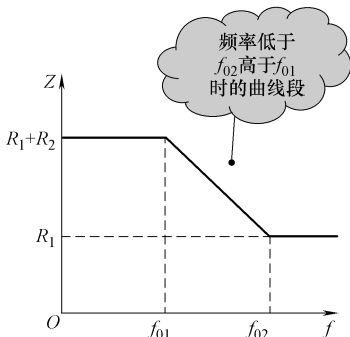


图 9-49 输入信号频率在高于转折频率  $f_{01}$  而低于  $f_{02}$  的频段内情况示意图

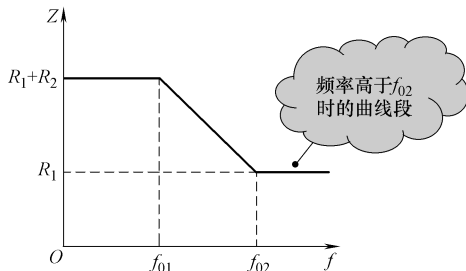


图 9-50 输入信号频率高于  $f_{02}$  情况时示意图

## 3. 其他形式 RC 串并联电路

如下所示是其他形式 RC 串并联电路的工作原理说明。



1)  $RC$  串并联电路之一。如图 9-51 所示是一种  $RC$  串并联的阻抗特性曲线。电路中, 要求  $R_2$  大于  $R_1$ ,  $C_2$  大于  $C_1$ , 这一  $RC$  串并联电路有三个转折频率如图所示。

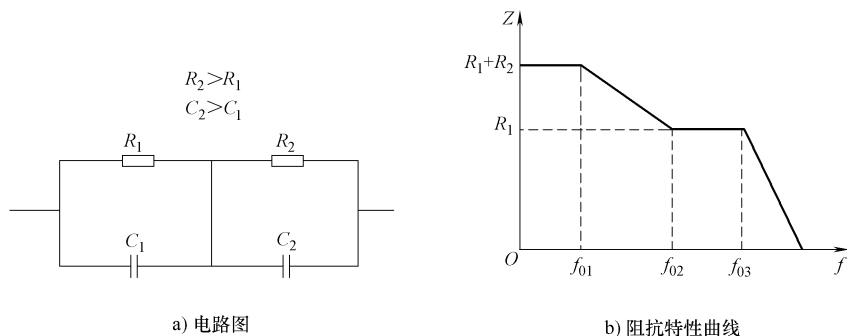


图 9-51 一种  $RC$  串并联的阻抗特性曲线

2)  $RC$  串并联电路之二。如图 9-52 所示是另一种  $RC$  串并联的阻抗特性曲线, 从这一电路的阻抗特性曲线中可看出, 它有两个转折频率。

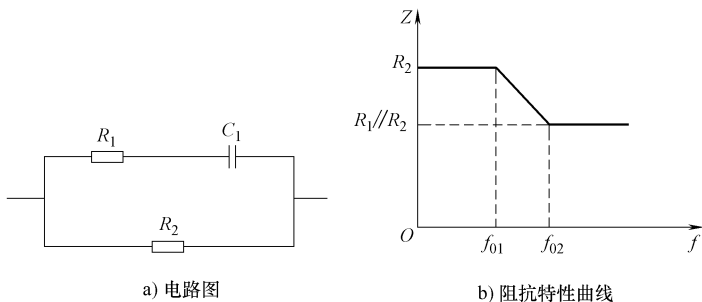


图 9-52 另一种  $RC$  串并联的阻抗特性曲线

### 9.3 图解分压电路

本节阅读建议: 重点阅读, 必要时反复阅读, 全面掌握分压电路工作原理。

本节难度系数: 5 级。在掌握了串联和并联电路工作原理后阅读难度会下降。分压电路的基础是电阻分压电路, 其他分压电路工作原理理解时要结合元器件的特性。

本节记忆系数: 9 级。在理解的基础上更容易记忆, 切不可死记硬背。



#### 重要提示

电子电路中的大量各种形式的使用分压电路, 即由电阻、电容、二极管、晶体管等元器件构成的分压电路。分压电路也是电子电路中一种最为基本的单元电路。

#### ★9.3.1 图解电阻分压电路

信号在电子电路中不只是需要放大, 更多的是需要在局部电路中进行恰当衰减, 信号的这一过程由分压电路来完成。

电阻分压电路是各种形式分压电路的基本电路, 必须加以掌握!

如图 9-53 所示是典型的电阻分压电路, 电路由  $R_1$  和  $R_2$  两只电阻构成。电路中有电压输入端和电压输出端。

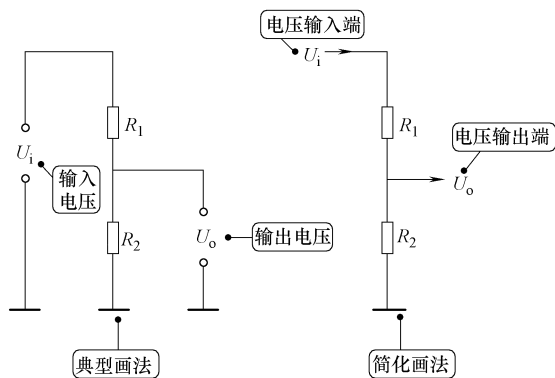


图 9-53 典型的电阻分压电路



**重要提示**

电阻分压电路特征是：输入电压  $U_i$  加在电阻  $R_1$  和  $R_2$  上，输出电压  $U_o$  取自串联电路中下面一只电阻  $R_2$  上电压，这种形式的电路称之为分压电路。以此电路特征可以在众多电路中分辨出分压电路。

**1. 电路分析**

分析分压电路的关键点有两个：一是分析输入电压回路及找出输入端，二是找出电压输出端。如图 9-54 所示是电阻分压电路输入回路示意图。输入电压加到电阻  $R_1$  和  $R_2$ ，它产生的电流流过  $R_1$  和  $R_2$ 。

**2. 找出分压电路输出端**

分压电路输出的信号电压要送到下一级电路中，理论上分压电路的下一级电路输入端是分压电路的输出端，前级电路的输出端就是后级电路的输入端，如图 9-55 所示是前级电路输出端与后级电路输入端关系示意图。但是，识图中用这种方法的可操作性差，因为有时分析出下一级电路的输入端比较困难。

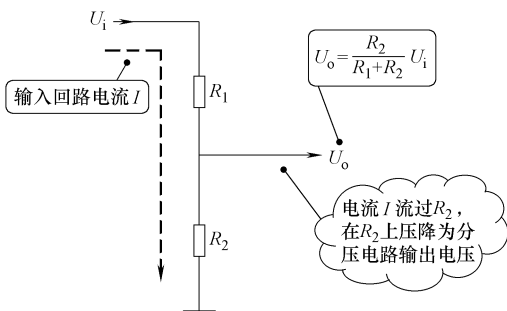


图 9-54 电阻分压电路输入回路示意图

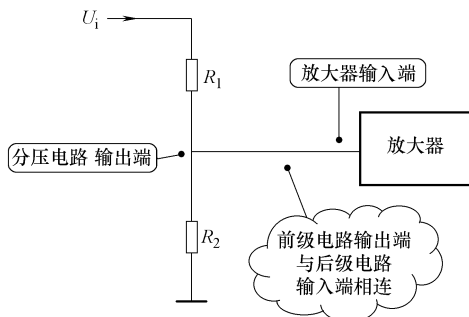


图 9-55 前级电路输出端与后级电路输入端关系示意图



**重要提示**

更为简便的方法是：找出分压电路中的所有元器件，从地线向上端分析，发现某元器件与分压电路之外的其他电路相连时，这一连接点是分压电路的输出端，这一点的电压就是分压电路的输出电压。

**3. 输出电压大小**

分析分压电路过程中，时常需要搞清楚输出电压的大小。

分压电路输出电压  $U_o$  大小计算方法:

$$U_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_i$$

式中,  $U_i$  为输入电压;  $U_o$  为输出电压。

因为  $R_1 + R_2$  大于  $R_2$ , 所以输出电压小于输入电压。分压电路对输入信号电压进行衰减。

改变  $R_1$  或  $R_2$  的阻值大小, 可以改变输出电压  $U_o$  的大小。

分析分压电路工作原理时不仅需要分析输出电压大小, 往往还需要分析输出电压大小的变化趋势, 因为分压电路中的两只电阻其阻值可能会大小改变。

如图 9-56 所示是  $R_2$  阻值大小变化时情况。输入电压  $U_i$ 、 $R_1$  固定不变时, 如果  $R_2$  阻值增大, 输出电压  $U_o$  也将随之增大;  $R_2$  阻值减小, 输出电压  $U_o$  也将随之减小。

借助于极限情况分析有助于记忆: 当  $R_2$  阻值增大到开路时,  $U_o = U_i$ , 即分压电路的输出电压等于输入电压; 当  $R_2$  阻值减小到短路时,  $U_o = 0V$ , 即分压电路的输出电压等于  $0V$ 。

如图 9-57 是  $R_1$  阻值大小变化时情况。输入电压  $U_i$ 、 $R_2$  固定不变, 当  $R_1$  减小时输出电压  $U_o$  增大, 当  $R_1$  增大时输出电压  $U_o$  减小。

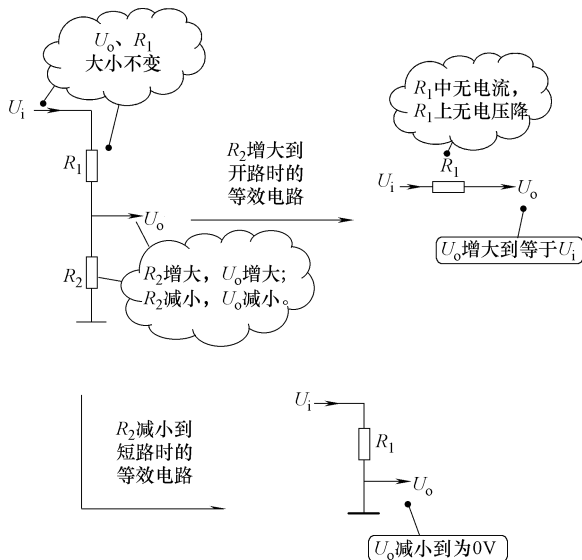


图 9-56  $R_2$  阻值大小变化时情况

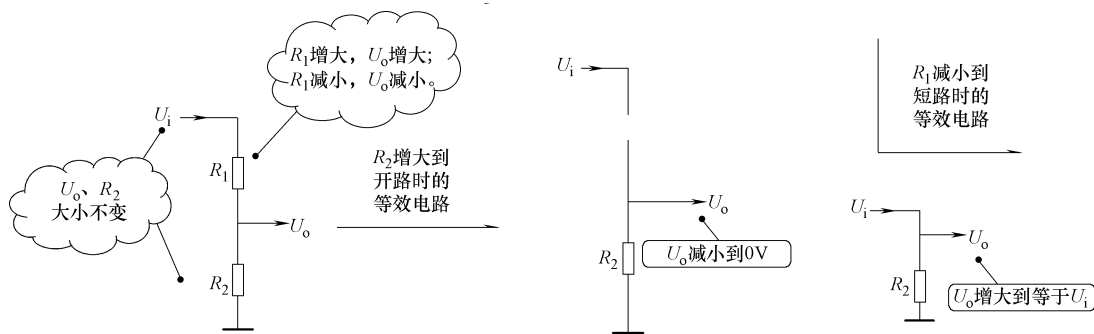


图 9-57  $R_1$  阻值大小变化时情况

借助于极限情况分析有助于记忆: 当  $R_1$  减小到为零时 ( $R_1$  短路), 分压电路输出端为地端, 输出电压为  $0V$ ; 当  $R_1$  增大到开路时, 输出电压为  $0V$ 。

### ★9.3.2 图解其他分压电路

#### 重要提示

分压电路不只是存在于电阻电路中, 其他的元器件也可以构成分压电路, 并且可以多种不同类型的元器件构成分压电路。

## 1. 电容分压电路

如图 9-58 所示是电容分压电路。电路中的  $C_1$  和  $C_2$  构成电容分压电路,  $U_i$  是交流输入信号电压,  $U_o$  是输出信号电压, 输出信号电压取出电容  $C_2$  上。分析电容分压电路时可以运用分析电阻分压电路的基本方法, 再借助电容器的具体特性进行个性分析。

由于电容的隔直特性, 所以这一分压电路不适合于直流电路。进行电容分压电路输出电压大小分析时, 运用等效理解方法最简单, 如图 9-59 所示是电容分压电路的等效电路。

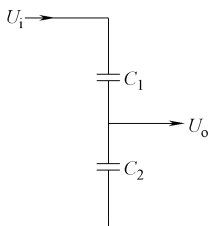


图 9-58 电容分压电路

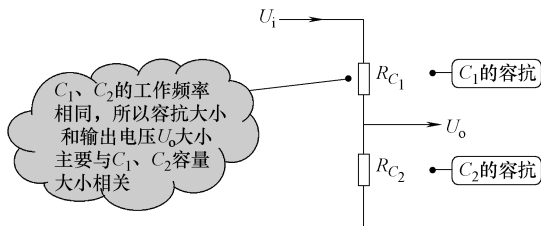


图 9-59 电容分压电路的等效电路

电容  $C_1$  和  $C_2$  的容抗分析用两只电阻来等效, 这样电容分压电路就等效成电阻分压电路, 可以用电阻分压电路中分析输出电压大小的方法来分析。

等效电路的分析中关键是容抗大小的理解, 这里需要了解电容容抗的有关特性, 容抗与频率成反比, 容抗与容量成反比。不了解容抗与频率、容量之间的关系就无法进行这种等效分析, 许多初学者电路分析中遇到困难也是出于对这些基本知识和概念的掌握不全面、不扎实。



### 重要提示

流过电容分压电路各电容的信号频率相同, 这样进行等效电路分析时只需要考虑  $C_1$ 、 $C_2$  的容量大小对容抗的影响。

如果  $C_1$  的容量等于  $C_2$  的容量, 那么  $C_1$  和  $C_2$  的容抗相等, 即等效电路中的  $R_{C1}$ 、 $R_{C2}$  相等, 由前面电阻分压电路特性可知, 此时输出电压  $U_o$  等于输入电压  $U_i$  的一半; 当电容  $C_1$  的容量大于  $C_2$  的容量时,  $C_1$  的容抗  $R_{C1}$  小于  $C_2$  的容抗  $R_{C2}$ , 此时输出电压  $U_o$  大于输入电压  $U_i$  的一半。

交流电路中, 分压电路是用来将输入的交流信号进行适当的衰减, 可以采用电阻分压电路实现这一电路功能, 为何又要采用电容分压电路? 因为电阻对信号存在损耗, 而电容在理论上对信号能量不存在损耗, 所以在一些交流信号电路中, 特别是高频信号电路中采用电容分压电路而不用电阻分压电路。

## 2. 阻容分压电路

电阻和电容组合也可以构成分压电路, 如图 9-60 所示是一种形式的阻容分压电路, 输出电压取自电容  $C_1$  上。

分析这种分压电路要将输入信号分在直流和交流两种情况分别进行。

当输入电压为直流电压时, 由于电容  $C_1$  的容抗为无穷大, 所以  $C_1$  相当于开路, 如图 9-61 所示是直流等效电路, 这时  $R_1$  和  $C_1$  不再构成分压电路, 直流电压经过  $R_1$  后作为输出电压直接加到后级电路中。

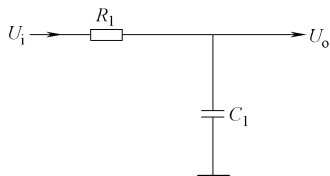


图 9-60 阻容分压电路

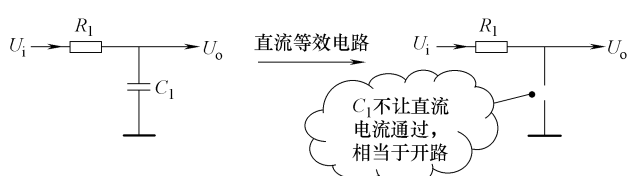


图 9-61 直流等效电路



当输入电压为交流电压时,由于电容  $C_1$  的容抗存在,而且这类电路中  $C_1$  容量较大而容抗较小,这时  $R_1$  和  $C_1$  构成分压电路,如图9-62所示是交流等效电路,交流电压经过  $R_1$ 、 $C_1$  分压后作为输出电压加到后级电路中。在理解  $RC$  滤波电路工作时,可以用上述  $RC$  分压电路的分析方法进行分析 and 理解。

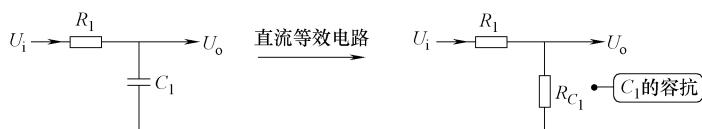


图 9-62 交流等效电路

## 9.4 图解 $RC$ 移相电路和 $RL$ 移相电路

本节阅读建议:快速阅读,全面了解  $RC$  移相电路和  $RL$  移相电路工作原理。

本节难度系数:8级。电路中的相位概念理解通常比幅度理解更有难度,所以本节的阅读难度较高,但是在掌握了电阻、电容和电感相关特性后难度有所下降。

本节记忆系数:4级。

### 重要提示

$RCL$  电路中指电阻、电容和电感的各类组合电路,有  $RC$  电路、 $RL$  电路、 $LC$  电路等。

掌握  $RC$  移相电路工作原理可以方便地分析  $RC$  正弦振荡器等电路工作原理。

### ★9.4.1 图解 $RC$ 移相电路

$RC$  电路可以用来对输入信号的相位进行移相,即改变输出信号与输入信号之间的相位差,根据阻容元件的位置不同有两种  $RC$  移相电路: $RC$  滞后移相电路和  $RC$  超前移相电路。

#### 1. 电流与电压之间相位关系

在讨论  $RC$  移相电路工作原理之前,先要对电阻器、电容器上的电流相位和在电阻器、电容器上电压降的相位之间的关系进行说明。

1) 电阻器上电流与电压之间的相位关系。电压和电流之间的相位是指电压变化时所引起的电流变化的情况。当电压在增大时,电流也在同时增大,并始终同步变化,这说明电压和电流之间是同相位的,即相位差为  $0^\circ$ ,如图9-63所示。

当电压增大时,电流减小,这说明它们之间是不同相的。电压与电流之间的相位差可以是  $0^\circ \sim 360^\circ$  范围内的任何值。不同的元件,其上的电流与电压的相位差是不同的。

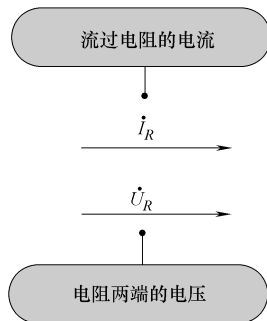


图 9-63 电阻器上电流与电压之间的相位关系示意图

### 重要提示

电阻器上的电流和电压是同相的,即流过电阻器的电流和电阻器上的电压降相位相同。

2) 电容器上电流与电压之间的相位关系。电容器上的电流和电压相位相差  $90^\circ$ ,如图9-64所示,并且是电流超前电压  $90^\circ$ ,这一点可以这样来理解:只有对电容器充电之后,电容器内部有了电荷,电容器两端才有电压,所以流过电容器的电流是超前电压的。

## 2. RC 滞后移相电路

如图 9-65 所示是 RC 滞后移相电路。电路中的  $U_i$  是输入信号电压,  $U_o$  是经这一移相电路后的输出信号电压,  $I$  是流过电阻  $R_1$  和电容  $C_1$  的电流。

分析移相电路时要用到矢量的概念, 并且要学会画矢量图。为了方便分析 RC 移相电路的工作原理, 可以用画图分析的方法。具体画图步骤如下。

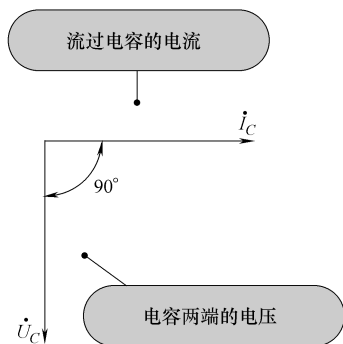


图 9-64 电容器上电流与电压之间的相位关系示意图

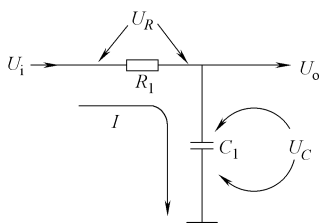
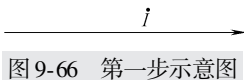


图 9-65 RC 滞后移相电路

1) 第一步画出流过电阻和电容的电流  $i$ 。第一步是画出流过电阻和电容的电流  $i$ , 如图 9-66 所示中是一条水平线 (其长短表示电流的大小)。



2) 第二步画出电阻上的电压矢量。如图 9-67 所示, 由于电阻上的电压降  $\dot{U}_R$  与电流  $i$  是同相位的, 所以  $\dot{U}_R$  也是一条水平线 (与  $i$  矢量线之间无夹角, 表示同相位)。



图 9-67 第二步示意图

3) 第三步画出电容上电压矢量。如图 9-68 所示, 由于电容两端电压滞后于流过电容的电流  $90^\circ$ , 所以将电容两端的电压  $\dot{U}_C$  画成与电流  $i$  垂直的线, 且朝下 (以  $i$  为基准, 顺时针方向为相位滞后), 该线的长短表示电容上电压的大小。

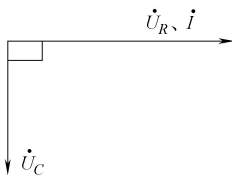


图 9-68 第三步示意图

4) 第四步画出平行四边形。从 RC 滞后移相电路中可以看出, 输入信号电压  $\dot{U}_i = \dot{U}_R + \dot{U}_C$ , 这里是矢量相加, 要画出平行四边形, 再画出输入信号电压  $\dot{U}_i$ , 如图 9-69 所示。

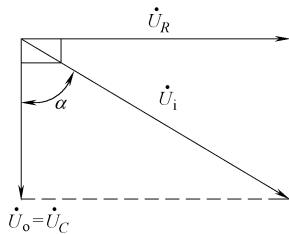


图 9-69 第四步示意图

### 重要提示

矢量  $\dot{U}_R$  与矢量  $\dot{U}_C$  相加后等于输入电压  $\dot{U}_i$ , 从图中可以看出,  $\dot{U}_C$  与  $\dot{U}_i$  之间是有夹角的, 并且是  $\dot{U}_C$  滞后于  $\dot{U}_i$ , 或者讲是  $\dot{U}_i$  超前  $\dot{U}_C$ 。

由于该电路的输出电压是取自于电容上的, 所以  $\dot{U}_o = \dot{U}_C$ , 输出电压  $\dot{U}_o$  滞后于输入电压  $\dot{U}_i$  一个角度。由此可见, 该电路具有滞后移相的作用。

## 3. RC 超前移相电路

如图 9-70 所示是 RC 超前移相电路, 这一电路与 RC 滞后移相电路相比, 只是电路中电阻和电

容的位置变换了,输出电压取自于电阻  $R_1$ 。

根据上面介绍的矢量图画图步骤,画出矢量图之后很容易看出,如图 9-71 所示,输出信号电压  $U_o$  超前于输入电压  $U_i$  一个角度。

具体的画图步骤是:(1)画出电流  $I$ , (2)画出电阻上压降  $\dot{U}_R$ , (3)画出电容上压降  $\dot{U}_C$ , 并画出平行四边形, (4)画出输入电压  $\dot{U}_i$ 。

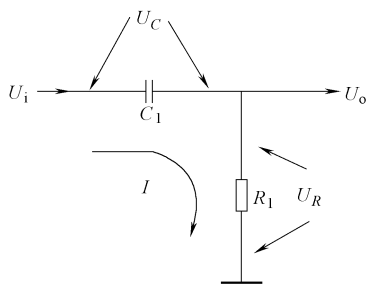


图 9-70 RC 超前移相电路

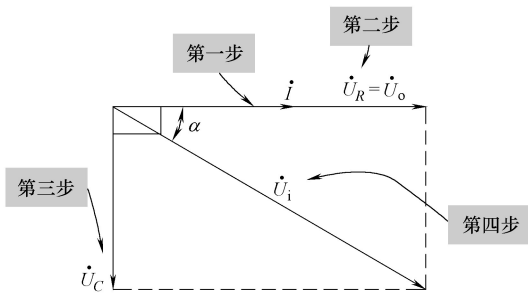


图 9-71 画图示意图



#### 重要提示

这种 RC 移相电路的最大相移量小于  $90^\circ$ , 如果采用多级 RC 移相电路则总的相移量可以大于  $90^\circ$ 。改变电路中的电阻或电容的大小, 可以改变相移量。

### ★9.4.2 图解 RL 移相电路

电阻器和电感器也能构成移相电路, 这种移相电路称为 RL 移相电路。RL 移相电路也有超前移相电路和滞后移相电路两种, 这两种移相电路都是利用了电感器的电流和电压之间的相位特性。

介绍 RL 移相电路之前, 先介绍流过电感电流与电感两端电压之间的相位关系。

电感器的许多特性与电容器相反, 在相位关系上也是如此。流过电感器的电流是滞后电感器上电压  $90^\circ$  的, 如图 9-72 所示, 或者说电感器上的电压矢量超前电流矢量。电容器电流超前电压  $90^\circ$ , 将它们的相位关系联系起来记忆是有益的, 牢记其中的一个, 另一个则相反, 一般记忆电容的特性。

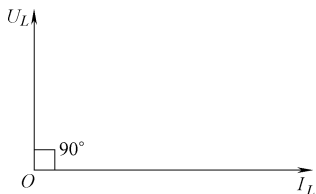


图 9-72 流过电感器电流与电感器两端电压之间相位关系

#### 1. RL 超前移相电路

如图 9-73 所示是 RL 超前移相电路。从电路中可以看出, 交流输入信号  $U_i$  加到电阻  $R_1$  上, 输出信号电压  $U_o$  是从  $L_1$  上取出的。

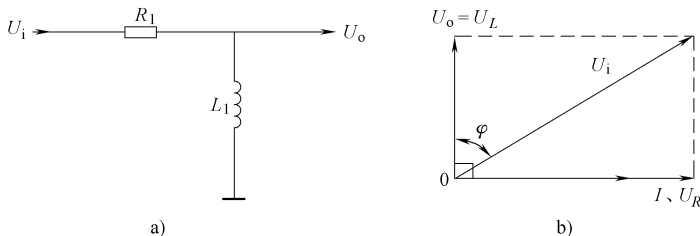


图 9-73 RL 超前移相电路

分析 RL 移相电路也是采用画矢量图的方法, 方法用分析 RC 移相电路时一样, 只是要注意画矢量图时, 电感器上的电压超前电流  $90^\circ$ 。

如图 9-73b 所示, 先画出流过电阻器和电感器的电流  $I$ , 然后画出电阻上的电压  $U_R$ , 注意电阻上的电压与流过电阻的电流是同相位的, 所以电压  $U_R$  与  $I$  重合。

画出电感器  $L_1$  上的电压  $U_L$ ，它与电流相差  $90^\circ$ ，而且为超前  $90^\circ$ 。再画出输出电压  $U_o$ ，输出电压就是电感器  $L_1$  上的电压。

然后，画出平行四边形，画出输入信号电压  $U_i$ ，这样可以看出输入信号电压  $U_i$  与输出信号电压  $U_o$  之间的相位关系，输出信号电压  $U_o$  超前输入信号电压  $U_i$  一个角度，所以这是一个超前式  $RL$  移相电路。

## 2. $RL$ 滞后移相电路

如图 9-74 所示是  $RL$  滞后移相电路，从电路中可以看出，输入信号电压  $U_i$  加到电感器  $L_1$  上，输出信号电压  $U_o$  取自电阻  $R_1$  上。

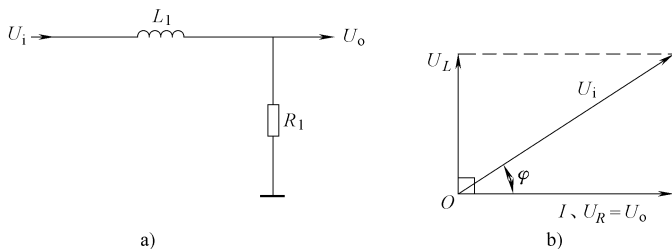


图 9-74  $RL$  滞后移相电路

同  $RL$  超前移相电路的画矢量图方法一样，如图 9-74b 所示，由于输出信号电压  $U_o$  取自电阻  $R_1$  上，所以输出信号电压  $U_o$  就等于电阻  $R_1$  上的电压  $U_R$ ，与电流  $I$  重合。从图中可以看出，输出信号电压  $U_o$  滞后于输入信号电压  $U_i$  一个角度，所以这是一个滞后式  $RL$  移相电路。

关于  $RL$  移相电路分析主要说明以下几点：

- (1) 电路的分析方法同  $RC$  移相电路一样，但要注意对于电感器而言电压是超前电流的。
- (2) 要注意画矢量图的步骤，在分析电路过程中一般是只要知道是超前还是滞后式  $RL$  移相电路，对于具体的移相量大小不必作计算、分析，这种计算是相当复杂的。
- (3)  $RL$  移相电路的应用没有  $RC$  移相电路多。

## 9.5 图解 $LC$ 谐振电路

本节阅读建议：详细阅读，全面掌握  $LC$  谐振电路工作原理。

本节难度系数：6 级。

本节记忆系数：7 级。 $LC$  谐振电路应用领域较广泛，重点记忆它们的阻抗特性。

$LC$  电路是指电感  $L$  和电容  $C$  构成的电路，主要有  $LC$  串联谐振电路和  $LC$  并联谐振电路。 $RL$  电路是指电阻  $R$  和电感  $L$  构成的电路，主要有  $RL$  移相电路等。

根据电路中电感器  $L$  和电容器  $C$  的连接方式不同，共有两种基本的  $LC$  谐振电路： $LC$  并联谐振电路和  $LC$  串联谐振电路。

### ★9.5.1 图解 $LC$ 自由谐振过程

在放大器电路和其他形式的信号处理电路中，大量使用  $LC$  并联谐振电路和  $LC$  串联谐振电路。 $LC$  谐振电路常见应用于下列电路。

1) 选频电路或选频放大器。它用构成选频电路或选频放大器电路，用来在众多频率的信号中选出所要频率的信号进行放大，这种电路在收音机、电视机等电路中有着广泛的应用。在正弦波振荡器电路中也有着广泛的应用。

2) 吸收电路。它用来构成吸收电路，在众多频率的信号中将某一频率的信号进行吸收，也就是进行衰减，将这一频率的信号从众多频率信号中去掉。

3) 阻波电路。它用来构成阻波电路,从众多频率的信号中阻止某一频率的信号通过放大器电路或其他电路。

4) 移相电路。它用来利用  $LC$  并联电路构成移相电路,对信号进行移相。

### 重要提示

$LC$  并联、串联谐振电路在应用中的变化较多,是电路分析中的一个难点,只有掌握  $LC$  并联、串联电路的阻抗特性等基本概念,才能正确、方便地理解含有  $LC$  并联、串联谐振电路的各种不同电路的工作原理。

### 1. $LC$ 自由谐振全过程

如图 9-75 所示是  $LC$  自由谐振电路。电路中的  $L_1$  是电感器,  $C_1$  是电容器,  $L_1$  和  $C_1$  构成一个并联电路。

1)  $LC$  谐振的钟摆等效理解方法。 $LC$  电路的谐振过程由于看不见摸不着,所以理解起来相当的不方便,为此可以用钟摆的左右摆动来说明,如图 9-76 所示。

在给钟摆一个初始能量后,钟摆就会左右摆动起来,如果不给钟摆电力或弹簧的机械力,钟摆会在摆动过程中摆幅越来越小,直至停止摆动。若给  $LC$  自由谐振电路一个初始能量,该电路便会发生自由谐振,这一自由谐振过程如同没有动力的钟摆一样,振荡将逐渐衰减至零。

2)  $LC$  谐振的电磁转换过程。如图 9-77 所示是  $LC$  谐振的电—磁转换过程示意图,  $LC$  谐振电路的基本谐振过程是:设一开始电容  $C_1$  中已经充有电能,这时电容  $C_1$  中的电能对线圈  $L_1$  放电,这一过程是电容  $C_1$  中的电能转换成线圈  $L_1$  中磁能的过程,电容  $C_1$  放电结束时,能量全部以磁能的形式储存在线圈  $L_1$  中。

3)  $LC$  谐振的磁电转换过程。如图 9-78 所示是  $LC$  谐振的磁—电转换过程示意图,电容  $C_1$  放电完毕之后,线圈  $L_1$  中的磁能又以线圈两端自感电动势产生电流的方式,开始对电容  $C_1$  进行充电,这一充电过程是线圈  $L_1$  中磁能转换成电容  $C_1$  中电能的过程。

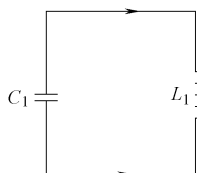


图 9-75  $LC$  自由谐振电路

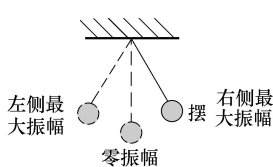


图 9-76 钟摆示意图

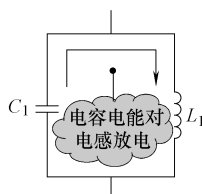


图 9-77  $LC$  谐振的电—磁转换过程示意图

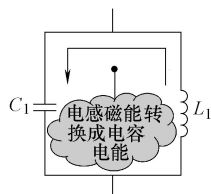


图 9-78  $LC$  谐振的磁—电转换过程示意图

电容  $C_1$  充电完毕之后,电容  $C_1$  两端的电压再度对线圈  $L_1$  进行放电,开始新一轮新的振荡、能量转换过程。

4)  $LC$  谐振的正弦振荡。如果电路中电感  $L_1$  和电容  $C_1$  不存在能量损耗,则谐振回路的振荡电流将是等幅的,为正弦波形,如图 9-79 所示。

5)  $LC$  谐振的衰减振荡与等幅振荡。线圈  $L_1$  存在着直流电阻和其他一些因素,对电能是有损耗的,电容  $C_1$  也存在损耗,这就导致谐振回路的电流不是等幅的,而是逐渐衰减的,如图 9-80 所示。

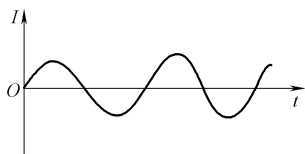


图 9-79 正弦振荡示意图

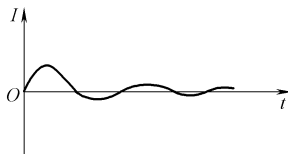


图 9-80  $LC$  谐振的衰减振荡示意图

## 重要提示

如果在  $LC$  谐振电路的振荡过程中, 能够不断地给  $LC$  电路补充电能, 这一振荡将会一直等幅振荡下去, 这就是  $LC$  谐振电路的振荡过程。

2.  $LC$  谐振振荡频率

$LC$  谐振过程中, 电容  $C_1$  不断重复地充电、放电, 它有一个周期, 称为振荡周期, 也可以用振荡频率来描述。

## 重要提示

在  $LC$  自由谐振电路中, 振荡过程中的谐振频率即为  $f_0$ , 改变  $L_1$  或  $C_1$  的标称值, 就能改变振荡频率  $f_0$ 。无论是  $LC$  并联谐振电路还是  $LC$  串联谐振电路, 其谐振频率的计算公式都是相同的。

谐振频率与电感  $L_1$  和电容  $C_1$  的大小相关, 在  $L_1$  和  $C_1$  的大小确定后, 谐振频率就确定了, 所以该谐振频率又称为固有频率, 或自然频率。

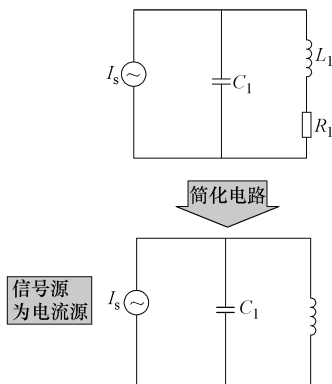
对于一个特定参数的  $LC$  谐振电路, 指电感器  $L_1$  和电容器  $C_1$  大小确定后, 就有一个确定不变的谐振频率  $f_0$ ,  $f_0$  与电感  $L_1$  和电容  $C_1$  的大小有关, 由下式决定:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \times C_1}}$$

式中,  $L_1$  是电感量, 单位是亨 (H);  $C_1$  是电容量, 单位是法 (F);  $f_0$  是谐振频率, 单位赫兹 (Hz)。

★9.5.2 图解  $LC$  并联谐振电路主要特性

如图 9-81 所示是  $LC$  并联谐振电路。电路中的  $L_1$  和  $C_1$  构成  $LC$  并联谐振电路,  $R_1$  是线圈  $L_1$  的直流电阻,  $I_s$  是交流信号源, 这是一个恒流源。所谓恒流源就是输出电流不随负载大小的变化而变化的电源。为了便于讨论  $LC$  并联电路可忽略线圈电阻  $R_1$ , 见简化后的电路 ( $R_1=0$ )。

图 9-81  $LC$  并联谐振电路

## 重要提示

$LC$  并联谐振电路的谐振频率为  $f_0$ ,  $f_0$  的计算公式与自由谐振电路中的计算公式一样。

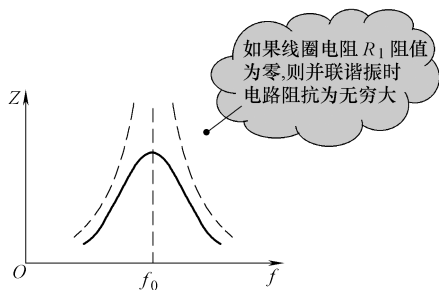
必须掌握  $LC$  谐振电路的主要特性, 这些特性是分析由  $LC$  并联谐振电路构成的各种单元电路和功能电路的依据。

1.  $LC$  并联谐振电路阻抗特性

$LC$  并联谐振电路的阻抗可以等效成一个电阻, 这是一个特殊电阻, 它的阻值大小是随频率高低变化而变化的。这种等效可以方便对电路工作原理的理解。

如图 9-82 所示是  $LC$  并联谐振电路的阻抗特性曲线。图中,  $X$  轴方向为  $LC$  并联谐振电路的输入信号频率,  $Y$  轴方向为该电路的阻抗。从图中可以看出, 这一阻抗特性是以谐振频率  $f_0$  为中心轴, 左右对称, 曲线上面窄, 下面宽。

对  $LC$  并联谐振电路的阻抗进行分析, 要将输入信

图 9-82  $LC$  并联谐振电路的阻抗特性曲线



号频率分成几种情况来说明。

1) 输入信号  $I_s$  频率等于谐振频率  $f_0$  情况分析。当输入信号  $I_s$  的频率等于该电路的谐振频率  $f_0$  时,  $LC$  并联电路发生谐振, 此时谐振电路的阻抗达到最大, 并且为纯阻性, 即相当于一个阻值很大的纯电阻, 如图 9-83 所示, 其值为  $Q^2 R_1$  ( $Q$  为品质因数, 是表征振荡质量的一个参数)。



### 重要提示

如果线圈  $L_1$  的直流电阻  $R_1$  为零的话, 此时  $LC$  并联谐振电路的阻抗为无穷大, 见图中虚线所示。

要记住  $LC$  并联电路的一个重要特性: 并联谐振时电路的阻抗达到最大。

2) 输入信号频率高于谐振频率  $f_0$  情况分析。当输入信号频率高于谐振频率  $f_0$  后,  $LC$  谐振电路处于失谐状态, 电路的阻抗下降 (比电路谐振时的阻抗有所减小), 而且信号频率越是高于谐振频率,  $LC$  并联谐振电路的阻抗越小, 如图 9-84 所示, 并且此时  $LC$  并联电路的阻抗呈容性 (见图中), 等效成一个电容。

输入信号频率高于谐振频率后,  $LC$  并联谐振电路等效成一只电容, 可以这么去理解: 在  $LC$  并联谐振电路中, 当输入信号频率升高后, 电容  $C_1$  的容抗在减小, 而电感  $L_1$  的感抗在增大, 容抗和感抗是并联的。

由并联电路的特性可知, 并联电路起主要作用的是阻抗小的一个, 所以当输入信号频率高于谐振频率之后, 这一并联谐振电路中的电容  $C_1$  的容抗小, 起主要作用, 整个电路相当于是一个电容, 但等效电容的容量大小不等于  $C_1$ 。

3) 输入信号频率低于谐振频率  $f_0$  情况分析。当输入信号频率低于谐振频率  $f_0$  后,  $LC$  并联谐振电路也处于失谐状态, 谐振电路的阻抗也要减小 (比谐振时小), 如图 9-85 所示, 而且是信号频率越低于谐振频率, 电路的阻抗越小, 这一点从曲线中可以看出。

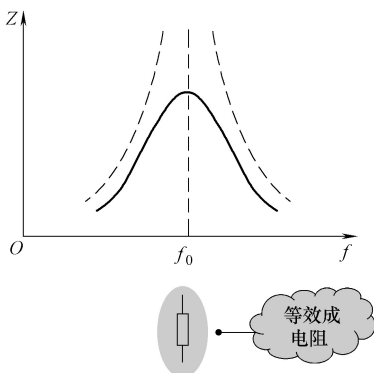


图 9-83 输入信号频率等于谐振频率时阻抗特性曲线

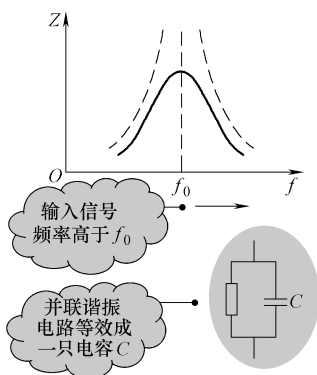


图 9-84 输入信号频率高于谐振频率时阻抗特性曲线

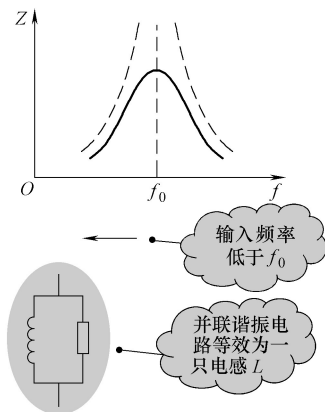


图 9-85 输入信号频率低于谐振频率时阻抗特性曲线

信号频率低于谐振频率时,  $LC$  并联谐振电路的阻抗呈感性, 电路等效成一个电感 (但电感量大小不等于  $L_1$ )。

在输入信号频率低于谐振频率后,  $LC$  并联谐振电路等效成一只电感可以这么去理解: 由于信号频率降低, 电感  $L_1$  的感抗减小, 而电容  $C_1$  的容抗则增大, 感抗和容抗是并联的,  $L_1$  和  $C_1$  并联后电路中起主要作用的是电感而不是电容, 所以这时  $LC$  并联谐振电路等效成一只电感。

## 2. LC 谐振电路品质因数

LC 谐振电路中的品质因数又称为  $Q$  值, 它是衡量 LC 谐振电路振荡质量的一个重要参数。

$Q$  值大小对谐振电路的工作特性有许多影响。

当谐振电路的  $Q$  值不同时, 谐振电路的阻抗特性也有所不同, 如图 9-86 所示是不同  $Q$  值下的 LC 并联谐振电路的阻抗特性曲线。图中,  $Q_1$  为最大, 此时曲线最尖锐, 谐振时电路的阻抗为最大;  $Q_3$  为最小, 谐振时电路的阻抗小, 且曲线扁平。由此可知, 不同的  $Q$  值有不同的阻抗特性。

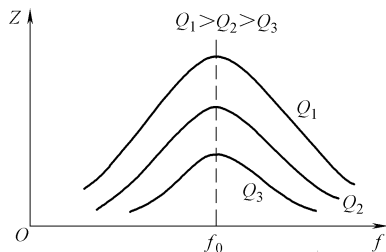


图 9-86 不同  $Q$  值下 LC 并联谐振电路的阻抗特性曲线

### 重要提示

由于  $Q$  值的大小不同, 会有不同的阻抗特性曲线, 在实用电路中就是通过适当调整 LC 并联谐振电路的  $Q$  值, 来得到所需要的频率特性的。

LC 串联谐振电路的  $Q$  值计算公式:

$$Q = \frac{2\pi f_0 L_1}{R_1} = \frac{1}{2\pi f_0 C_1 R_1}$$

从该公式中可以看出,  $Q$  值与  $L_1$  成正比关系, 而与  $C_1$  和  $R_1$  成反比关系。从上述公式中也可以看出, 阻尼电阻  $R_1$  大,  $Q$  值小。

## 3. LC 并联谐振电路电抗特性

如图 9-87 所示是 LC 并联谐振电路的电抗特性曲线, 曲线中  $X_L$  是电路中电感  $L_1$  的感抗特性曲线,  $X_C$  是电容  $C_1$  的容抗特性曲线,  $X$  是电路总的电抗特性曲线。

1) 输入信号频率等于谐振频率。当输入信号频率等于谐振频率时,  $X_L = X_C$ , 此时电抗为零, 谐振电路的阻抗为纯阻性。

2) 输入信号频率高于谐振频率。当输入信号频率高于谐振频率时,  $X_C$  大于  $X_L$ , 此时电抗为容性, 谐振电路为容性, 相当于是一个电容。

3) 输入信号频率低于谐振频率。当输入信号频率低于谐振频率时,  $X_L$  大于  $X_C$ , 此时电抗为感性, 谐振电路为感性, 相当于是一个电感。

## 4. LC 并联谐振为电流谐振

在 LC 并联谐振电路发生谐振时, 电路总的阻抗很大, 流过 LC 并联谐振电路的总信号电流很小, 也就相当于 LC 并联谐振电路与输入信号源之间开路了。

此时, 电容  $C_1$  与电感  $L_1$  这两个并联元件之间发生谐振,  $C_1$  和  $L_1$  之间进行电能和磁能的相互转换, 这就是谐振现象。

### 重要提示

在这个谐振过程中, 流过  $C_1$  支路的信号电流等于电感  $L_1$  支路的信号电流, 而且是等于此时流过整个 LC 并联电路总电流的  $Q$  值,  $Q$  为品质因数,  $Q$  一般为 100 左右。

由此可见, 在 LC 并联谐振电路发生谐振时, 在电容  $C_1$  和  $L_1$  中的信号电流升高了许多倍。所以, LC 并联谐振电路又称为电流谐振。

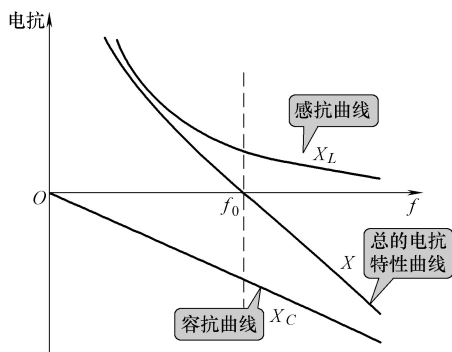


图 9-87 LC 并联谐振电路电抗特性曲线

在  $LC$  并联谐振电路发生谐振时, 由于流过电容  $C_1$  上的信号电流与流过电感  $L_1$  的信号电流相位相反, 所以这两个信号电流之和为零, 电容  $C_1$  中的电流和电感  $L_1$  中的电流不流过信号源电路。

### 5. $LC$ 并联谐振时总电路电流最小

分析  $LC$  并联谐振电路中流过的信号电流大小是电路分析中的一项重要内容, 分析时要将输入信号频率分成两种情况。

1) 输入信号频率等于谐振频率  $f_0$  时分析。 $LC$  并联谐振电路中, 当输入信号的频率等于电路的谐振频率  $f_0$  时, 电路发生并联谐振, 此时电路的阻抗为最大, 所以频率为  $f_0$  的信号流过  $LC$  并联谐振的电流最小。

此时的电路电流大小等于并联电路两端的信号电压除以  $Q^2 R_1$ ,  $Q$  为电路的品质因数, 它一般为 100 左右, 可见此时流过  $LC$  并联电路的总电流是很小的。

2) 输入信号频率高于或低于谐振频率  $f_0$  时分析。对于输入信号频率高于或低于谐振频率  $f_0$  的信号电流, 因为  $LC$  并联谐振电路失谐之后阻抗迅速减小, 所以信号电流都有明显增大, 信号频率越是偏离电路的谐振频率, 其信号电流越大, 而且  $Q$  值越大, 偏离谐振频率的信号电流增大得越迅速。

这是  $LC$  并联谐振电路的重要特性, 在分析由  $LC$  并联谐振电路参与的各种放大器电路、滤波器时都需要运用这一特性。

### 6. $LC$ 谐振电路通频带

通频带简称为频带。如图 9-88 所示是  $LC$  并联谐振电路的频率特性曲线。 $X$  轴是频率,  $Y$  轴是振荡幅度。曲线中,  $f_0$  是  $LC$  并联谐振电路的谐振频率。

1) 频带定义。在频率为  $f_0$  时设振荡幅度为 1, 当振荡幅度下降到 0.707 时, 对应曲线上有两点, 频率较低处的一点是  $f_L$ , 这一频率称为下限频率; 频率较高处的一点是  $f_H$ , 这一频率称为上限频率, 频带  $\Delta f = f_H - f_L$ , 即上限频率和下限频率之间的频率范围。

2) 频带宽度要求。一个  $LC$  并联谐振电路的频带宽度是有具体要求的, 不同的电路中为了实现特定的电路功能, 对频带宽度的要求也大不相同, 有的要求频带宽, 有的要求窄, 有的则要求有适当的频带宽度。

3) 频带外特性。从这一频带曲线中可以看出, 当信号的频率低于下限频率和高于上限频率时, 曲线快速下跌, 信号幅度大幅减小, 这一特性要记牢。

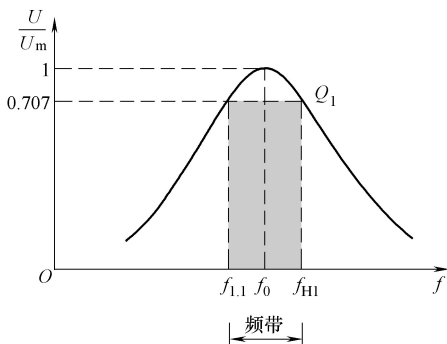


图 9-88  $LC$  并联谐振电路的频率特性曲线

### 7. 调整 $LC$ 并联谐振电路频带宽度的电路

实用的  $LC$  并联谐振电路中, 为了获得所需要的频带宽度, 要求对  $LC$  并联谐振电路的  $Q$  值进行调整, 如图 9-89a 所示。电路中的  $L_1$  和  $C_1$  构成  $LC$  并联谐振电路, 电阻  $R_1$  并联在  $L_1$  和  $C_1$  上, 为阻尼电阻。

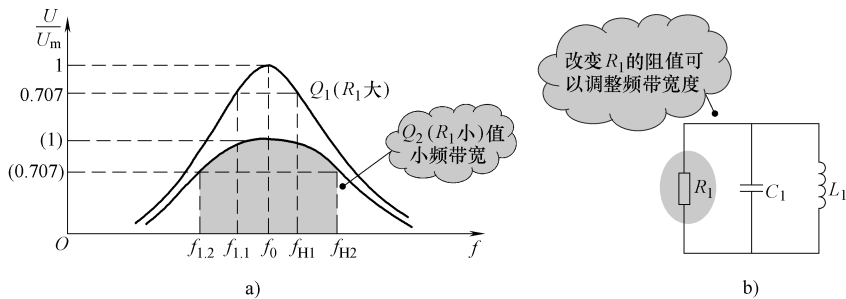


图 9-89 调整  $Q$  值电路示意图

并上阻尼电阻后, 一部分的谐振信号能量要被电阻  $R_1$  所分流, 使  $LC$  并联谐振电路的品质因数

下降,导致频带变宽。



#### 重要提示

当阻尼电阻  $R_1$  的阻值越小时,  $R_1$  所分流的谐振电流越多, 谐振电路的品质因数越小, 频带越宽。图中,  $Q_1$  大于  $Q_2$ ,  $Q_2$  曲线的频带宽于  $Q_1$  曲线。 $Q$  值越小, 频带越宽, 反之则窄。

曲线  $Q_1$  是阻尼电阻  $R_1$  的阻值较大时的曲线, 因为  $R_1$  比较大, 品质因数  $Q_1$  较大, 对  $LC$  并联谐振电路的分流衰减量比较小, 所以谐振电路振荡质量比较好, 此时频带比较窄。

曲线  $Q_2$  是阻尼电阻  $R_1$  的阻值较小时的曲线, 因为  $R_1$  比较小, 品质因数  $Q_2$  较小,  $LC$  并联谐振电路的分流衰减量比较大, 所以频带比较宽。

通过上述分析可知, 为了获得所需要的频带宽度, 可以通过调整  $LC$  并联电路中的阻尼电阻  $R_1$  来实现。

### ★9.5.3 图解 $LC$ 串联谐振电路主要特性

$LC$  串联谐振电路是  $LC$  谐振电路中的另一种谐振电路。

如图 9-90 所示是  $LC$  串联谐振电路。电路中的  $R_1$  是线圈  $L_1$  的直流电阻, 也是这一  $LC$  串联谐振电路的阻尼电阻, 电阻器是一个耗能元件, 它在这里要消耗谐振信号的能量。 $L_1$  与  $C_1$  串联后再与信号源  $U_s$  相并联, 这里的信号源是一个恒压源。

在  $LC$  串联谐振电路中, 电阻  $R_1$  的阻值越小, 对谐振信号的能量消耗越小, 谐振电路的品质也越好, 电路的  $Q$  值也越高。当电路中的电感  $L_1$  越大, 存储的磁能也越多, 在电路损耗一定时谐振电路的品质也越好, 电路的  $Q$  值也越高。

电路中, 信号源与  $LC$  串联谐振电路之间不存在能量相互转换, 只是电容  $C_1$  和电感  $L_1$  之间存在电能和磁能之间的相互转换。外加的输入信号只是补充由于电阻  $R_1$  消耗电能而损耗的信号能量。

$LC$  串联谐振电路的谐振频率计算公式与并联谐振电路一样。

#### 1. $LC$ 串联电路阻抗特性

如图 9-91 所示是  $LC$  串联谐振电路的阻抗特性曲线。

$LC$  串联电路阻抗特性的分析, 要将输入信号频率分成多种情况进行。

1) 输入信号频率等于谐振频率  $f_0$  情况分析。如图 9-92 所示是输入信号频率等于谐振频率  $f_0$  时阻抗特性曲线, 当信号频率等于  $LC$  串联谐振电路的谐振频率  $f_0$  时, 电路发生串联谐振, 串联谐振时电路的阻抗最小且为纯阻性 (不为容性也不为感性), 如图中所示, 其值为  $R_1$  (纯阻性)。

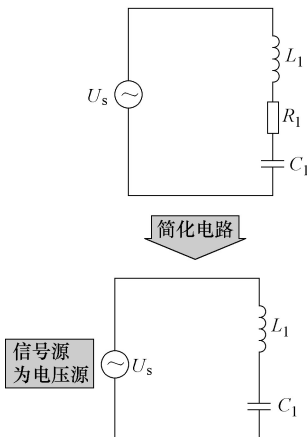


图 9-90  $LC$  串联谐振电路

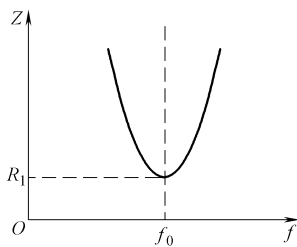


图 9-91  $LC$  串联谐振电路的阻抗特性曲线

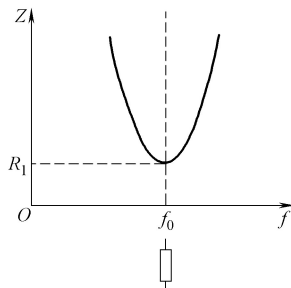


图 9-92 输入信号频率等于谐振频率  $f_0$  时阻抗特性曲线

**重要提示**

当信号频率偏离  $LC$  谐振电路的谐振频率时, 电路的阻抗均要增大, 且频率偏离的量越大, 电路的阻抗就越大, 这一点恰好是与  $LC$  并联谐振电路相反的。

要记住: 串联谐振时电路的阻抗最小。

2) 输入信号频率高于谐振频率  $f_0$  情况分析。如图 9-93 所示是输入信号频率高于谐振频率  $f_0$  时阻抗特性曲线, 相当于一个电感 (电感量大小不等于  $L_1$ ), 如图所示。

当输入信号频率高于谐振频率时,  $LC$  串联谐振电路为感性。

**重要提示**

这一点可以这么去理解: 在  $L_1$  和  $C_1$  串联电路中, 当信号频率高于谐振频率之后, 由于频率升高,  $C_1$  的容抗减小, 而  $L_1$  的感抗却增大, 在串联电路中起主要作用的是阻抗大的一个元件, 这样  $L_1$  起主要作用, 所以在输入信号频率高于谐振频率之后,  $LC$  串联谐振电路等效于一个电感。

3) 输入信号频率低于谐振频率  $f_0$  情况分析。如图 9-94 所示是输入信号频率低于谐振频率  $f_0$  时阻抗特性曲线, 当输入信号频率低于谐振频率时,  $LC$  串联谐振电路为容性, 相当于一个电容 (容量大小不等于  $C_1$ ), 如图所示。

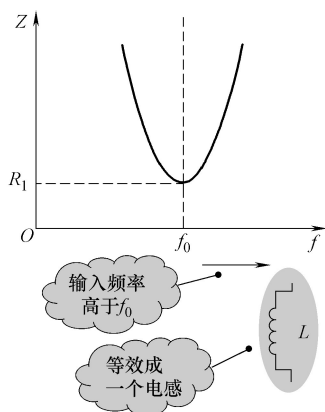


图 9-93 输入信号频率高于谐振频率  $f_0$  时阻抗特性曲线

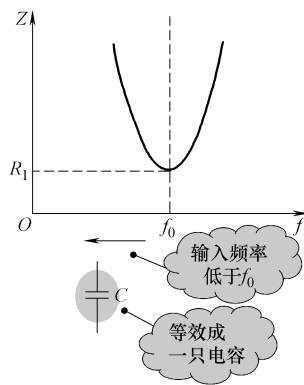


图 9-94 输入信号频率低于谐振频率  $f_0$  时阻抗特性曲线

**重要提示**

这一点可以这样理解: 当信号频率低于谐振频率之后, 由于频率降低,  $C_1$  的容抗增大, 而  $L_1$  的感抗却减小, 这样在串联电路中起主要作用的是电容  $C_1$ , 所以在输入信号频率低于谐振频率时,  $LC$  串联谐振电路等效于一个电容。

**2. 品质因数  $Q$** 

如图 9-95 所示是  $LC$  串联谐振电路阻抗与  $Q$  值之间关系的示意图。图中三条阻抗曲线中,  $Q_1$  曲线的品质因数最大,  $Q_2$  曲线其次,  $Q_3$  曲线最小,  $Q$  值越大曲线越尖锐, 谐振时的电路阻抗越小, 流过串联谐振电路的信号电流越大。

$LC$  串联谐振电路的频带特性与并联谐振电路是一样的, 也是谐振电路的  $Q$  值越大, 频带越窄, 反之则越宽。

$LC$  串联谐振电路的  $Q$  值计算公式:

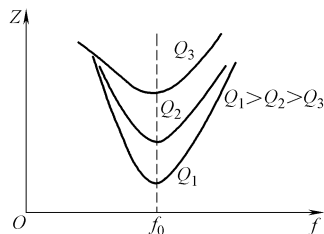


图 9-95  $LC$  串联谐振电路阻抗与  $Q$  值之间关系的示意图



$$Q = \frac{2\pi f_0 L_1}{R_1}$$

$$= \frac{1}{2\pi f_0 C_1 R_1}$$

从该公式中可以看出,  $Q$  值与  $L_1$  成正比关系, 而与  $C_1$  和  $R_1$  成反比关系。从上述公式中也可以看出, 阻尼电阻  $R_1$  大,  $Q$  值小。

### 3. 解说谐振时电流最大特性

$LC$  串联谐振电路中, 当输入信号的频率等于电路的谐振频率  $f_0$  时, 电路发生串联谐振, 此时电路的阻抗为最小, 所以频率为  $f_0$  的信号流过  $LC$  串联谐振的电流最大。此时的电路电流等于外加到  $LC$  串联谐振电路两端的信号电压除以电阻  $R_1$ 。



#### 重要提示

对于其他频率的信号电流, 因为  $LC$  串联谐振电路失谐之后阻抗迅速增大, 所以信号电流都有明显所下降, 信号频率越是偏离电路的谐振频率, 其信号电流越小, 而且  $Q$  值越大, 偏离谐振频率的信号电流下降得越迅速。

这是  $LC$  串联谐振电路的重要特性, 在分析由  $LC$  串联谐振电路参与的放大器电路、滤波器电路时都需要运用这一特性。

### 4. 解说电压谐振



#### 重要提示

$LC$  串联谐振电路发生谐振时, 电容  $C_1$  上的信号电压等于电感  $L_1$  上的信号电压, 且是加到  $LC$  串联谐振电路上信号电压的  $Q$  倍,  $Q$  为品质因数,  $Q$  一般为 100 左右。

由此可见, 在  $LC$  串联谐振电路发生谐振时, 在电容  $C_1$  和  $L_1$  上的信号电压升高了许多倍。所以,  $LC$  串联谐振电路又称为电压谐振。



#### 重要提示

在无线电电路中, 由于输入信号通常十分的微弱, 时常利用  $LC$  串联谐振电路的这一电压特性, 在电容  $C_1$  和电感  $L_1$  上获得频率与输入信号频率相同, 但是信号电压幅度比输入信号电压幅度大 100 左右的信号电压。

$LC$  串联谐振电路发生谐振时, 电容  $C_1$  上的信号电压与电感  $L_1$  上的信号电压相位相反, 所以这两个信号电压之和为 0V。此时, 加到  $LC$  串联谐振电路上的信号电压全部加到电阻  $R_1$  上。

## 9.6 图解 $LC$ 并联和 $LC$ 串联谐振实用电路

本节阅读建议: 细心阅读, 全面掌握分析  $LC$  并联和  $LC$  串联谐振实用电路的方法和思路, 力图顺畅看懂众多  $LC$  并联和  $LC$  串联谐振实用电路工作原理。

本节难度系数: 6 级。在掌握了  $LC$  谐振电路工作原理后阅读难度可大幅下降。

本节记忆系数: 6 级。典型电路工作原理要求牢牢记住。

### ★9.6.1 图解 $LC$ 并联谐振实用电路

#### 1. $LC$ 并联谐振阻波电路

如图 9-96 所示是由  $LC$  并联谐振电路构成的阻波电路 (阻止某频率信号通过的电路)。电路中



的  $VT_1$  构成一级放大器电路,  $U_i$  是输入信号,  $U_o$  是这一放大器电路的输出信号。  $L_1$  和  $C_1$  构成  $LC$  并联谐振电路, 其谐振频率为  $f_0$ ,  $f_0$  在输入信号频率范围内。阻波电路的作用是不让输入信号  $U_i$  中的某一频率通过, 即除  $f_0$  频率之外, 其他频率的信号可以通过。

1) 输入信号频率等于谐振频率  $f_0$  情况分析。由于  $L_1$  和  $C_1$  的谐振频率为  $f_0$ ,  $LC$  并联谐振电路在谐振时其阻抗最大, 而这一谐振电路串联在信号的输入回路中, 这样, 该电路对输入信号中频率为  $f_0$  的信号阻抗很大, 不让这一频率信号加到  $VT_1$  基极。

2) 输入信号频率高于或低于  $f_0$  情况分析。对于频率高于或低于  $f_0$  的输入信号, 由于  $L_1$  和  $C_1$  失谐, 其阻抗很小, 这些频率的信号可以通过  $L_1$  和  $C_1$  的并联电路, 经  $C_3$  耦合, 加到  $VT_1$  基极, 经  $VT_1$  放大后输出。

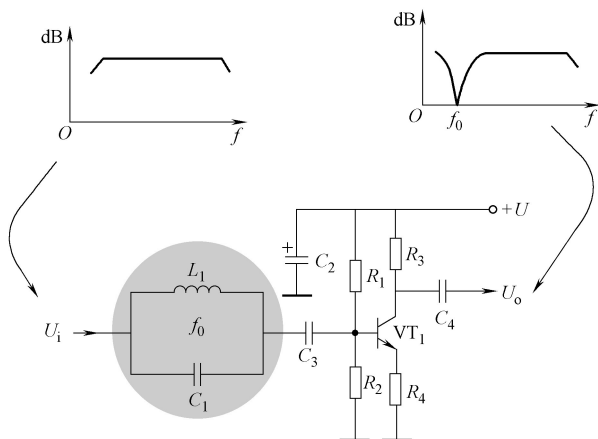


图 9-96 由  $LC$  并联谐振电路构成的阻波电路



#### 重要提示

从这一放大器电路的频率响应特性曲线中可看出, 由于阻波电路的存在, 使输出信号中频率为  $f_0$  的信号受到很大衰减, 从而滤除了输入信号中频率为  $f_0$  的成分。

这种阻波电路在电视机电路中广泛应用。

## 2. $LC$ 并联谐振移相电路

如图 9-97 所示是采用  $LC$  并联谐振电路构成的移相电路。电路中的  $VT_1$  管构成一级放大器,  $R_1$  是它的基极偏置电阻,  $R_3$  是它的发射极电阻,  $C_4$  是发射极旁路电容。  $L_1$  和  $C_3$  构成  $LC$  并联谐振电路,  $R_2$  是这一谐振电路的阻尼电阻。

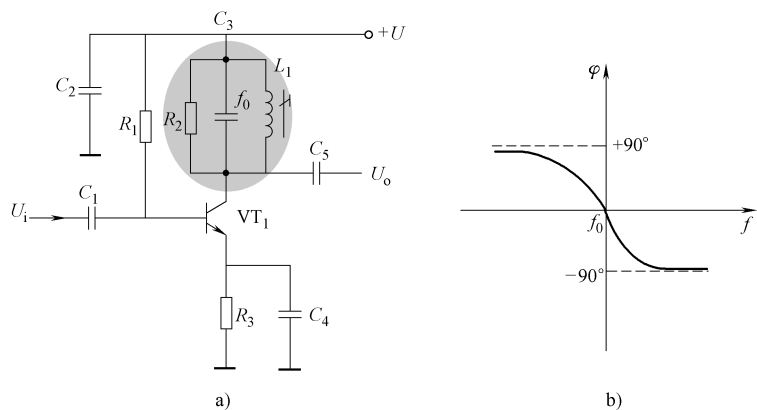


图 9-97  $LC$  并联谐振电路构成的移相电路

图 9-97b 所示是这一移相电路的相移特性曲线, 它表示了这一电路输出信号电压  $U_o$  与  $LC$  谐振电路中电流两者之间的相位差与频率的关系。

设输入信号的频率为  $f_1$ ,  $LC$  并联谐振电路的谐振频率为  $f_0$ , 这一频率信号经  $VT_1$  管放大后, 其集电极信号电流流过  $L_1$  和  $C_3$  构成的  $LC$  并联谐振电路。

通过调整  $L_1$  电感量, 使该谐振电路的谐振频率  $f_0 = f_1$ , 这样从图 9-97b 所示曲线中可以看出,

此时这一电路对频率为  $f_1$  的信号相移相量为零, 即频率为  $f_1$  信号的集电极电流与输出电压  $U_o$  之间同相位。

如果通过调整  $L_1$  的电感量, 使谐振频率  $f_0$  高于输入信号频率  $f_1$ , 从图 9-97b 所示曲线中可看出, 此时已有了正相移相, 即输出信号电压  $U_o$  超前集电极信号电流。  $f_0$  频率越是高于输入信号频率  $f_1$ , 超前量越大。

如果通过调整  $L_1$  的电感量, 使谐振频率  $f_0$  低于输入信号频率  $f_1$ , 从图 9-97b 所示曲线中可看出, 有了负相移相, 即输出信号电压  $U_o$  滞后于集电极信号电流。  $f_0$  频率越是低于输入信号频率  $f_1$ , 滞后量越大。

通过上述分析可知, 通过调整  $L_1$  的电感量, 可以改变输出信号电压  $U_o$  的相位, 达到移相的目的。

这一移相电路可能对信号在  $+90^\circ \sim -90^\circ$  范围内进行移相, 但实际使用中只使用  $f_0$  左右较小范围内的移相特性, 因为在较小范围内的移相曲线近似为直线。

## ★9.6.2 图解 LC 串联谐振实用电路

### 1. LC 串联谐振吸收电路

吸收电路的作用是将输入信号中某一频率的信号去掉。如图 9-98 所示是采用 LC 串联谐振电路构成的吸收电路。电路中的  $VT_1$  构成一级放大器,  $U_i$  是输入信号,  $U_o$  是这一放大器的输出信号。  $L_1$  和  $C_1$  构成 LC 串联谐振吸收电路, 其谐振频率为  $f_0$ , 它接在  $VT_1$  输入端与地端之间。

1) 输入信号频率为  $f_0$  情况分析。对于输入信号中频率为  $f_0$  的信号, 由于与  $L_1$  和  $C_1$  的谐振频率相同,  $L_1$  和  $C_1$  的串联电路对它的阻抗很小, 频率为  $f_0$  的输入信号被  $L_1$  和  $C_1$  旁路到地而不能加到  $VT_1$  基极,  $VT_1$  就不能放大  $f_0$  信号, 当然输出信号中也就没有频率为  $f_0$  的信号了。

2) 输入信号频率高于或低于  $f_0$  情况分析。对于输入信号中频率高于或低于  $f_0$  的信号, 由于与  $L_1$  和  $C_1$  的谐振频率不等, 这时  $L_1$  和  $C_1$  串联电路失谐, 其阻抗很大, 其输入信号不会被  $L_1$  和  $C_1$  旁路到地, 加到了  $VT_1$  基极, 经  $VT_1$  放大后输出。

从这一放大器的频率响应特性中可以看出, 输出信号中没有频率为  $f_0$  的信号存在了。

### 2. 串联谐振高频提升电路

如图 9-99 所示是采用 LC 串联电路构成的高频提升电路。电路中的  $VT_1$  构成一级共发射极放大器,  $L_1$  和  $C_4$  构成 LC 串联谐振电路, 用来提升高频信号。  $L_1$  和  $C_4$  串联谐振电路的谐振频率为  $f_0$ , 它高于这一放大器工作信号的最高频率。

由于  $L_1$  和  $C_4$  电路在谐振时的阻抗最小, 与发射极负反馈电阻  $R_4$  并联后负反馈电阻最小, 所以此时的放大倍数最大。

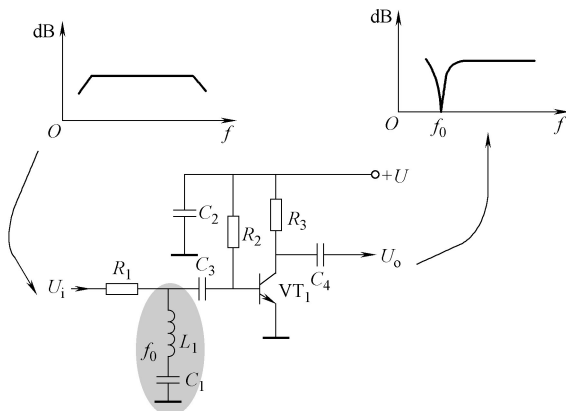


图 9-98 LC 串联谐振吸收电路

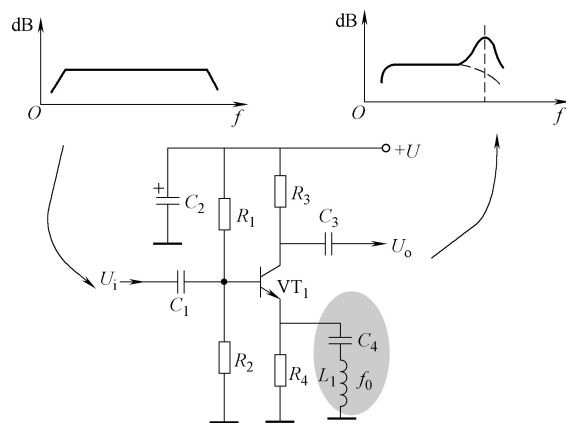


图 9-99 LC 串联谐振高频提升电路

这样,接近 $f_0$ 的高频信号得到提升,见图中放大器的频响特性曲线所示,不加 $L_1$ 和 $C_4$ 时的高频段响应曲线为虚线,加入 $L_1$ 和 $C_4$ 时的为实线,显然实线的高频段响应好于虚线。

对于频率远低于 $f_0$ 的输入信号, $L_1$ 和 $C_4$ 电路对它们没有提升作用。因为 $L_1$ 和 $C_4$ 电路处于失谐状态,其阻抗很大,此时的负反馈电阻为 $R_4$ 。

### 3. 放音磁头高频补偿电路

如图9-100所示是磁性记录设备中的放音磁头(用来播放磁带上信号的器件)电路,电路中的 $HD_1$ 是放音磁头, $C_1$ 是高频补偿电容, $C_1$ 与 $HD_1$ 中的线圈构成一个LC串联谐振电路,用来提升放音中的高频信号。

放音磁头 $HD_1$ 内部的线圈与电容 $C_1$ 构成一个LC串联谐振电路,其谐振频率略高于放音信号的最高频率,这样对于放音信号中的高频段信号由于谐振的作用而得到提升,如图9-101所示是放音高频信号得到提升后的特性曲线。如果不加 $C_1$ 高频补偿电路,则高频段输出特性曲线为虚线所示,显然高频信号受到衰减。

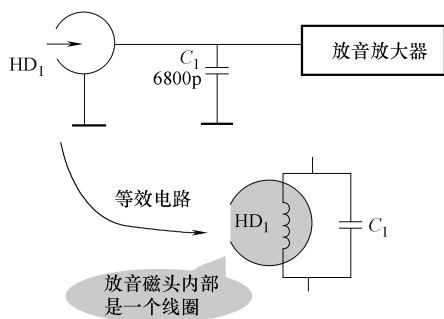


图 9-100 放音磁头电路

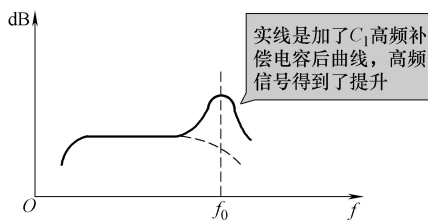


图 9-101 放音高频补偿特性曲线

## 9.7 图解 RC 实用电路

本节阅读建议:快速阅读,全面掌握分析 RC 实用电路的方法和思路,力图顺畅看懂众多 RC 实用电路工作原理。

本节难度系数:5级。在掌握了 RC 串联和并联电路、分压电路工作原理后阅读难度可大幅下降。

本节记忆系数:7级。RC 电路应用非常广泛,常见电路工作原理一定要牢记。

由电阻 R 和电容 C 构成的电路称为阻容电路,简称 RC 电路,这是电子电路中十分常见的一种电路,RC 电路的种类和变化很多,必须认真学习,深入掌握。

### ★9.7.1 图解 RC 消火花电路和录音高频补偿电路

#### 1. RC 消火花电路

如图9-102所示是RC消火花电路。电路中,+U是直流工作电压, $S_1$ 是电源开关,M是直流电机, $R_1$ 和 $C_1$ 构成RC消火花电路。



#### 重要提示

直流电机 M 是一个感性负载,在切断电源开关 $S_1$ 的瞬间,由于感性负载突然断电会产生自感电动势,这一电动势很大且加在了开关 $S_1$ 两个触点之间,这会在 $S_1$ 两触点之间产生打火放电现象,损伤开关 $S_1$ 的两个触点,长时间这样打火会造成开关 $S_1$ 的接触不良故障,为此要加入 $R_1$ 和 $C_1$ 这样的消火花电路,以保护感性负载回路中的电源开关。

开关 $S_1$ 断开时,直流电机 M 两端的自感电动势是通过这样的电路加到开关 $S_1$ 两个触点之间

的,如图 9-103 所示,直流电机 M 上端直接与开关  $S_1$  的左边触点相连,直流电机 M 的下端通过地与直流电源  $+U$  的负极相连,再通过直流电源的内电路与开关  $S_1$  的右边触点相连,这样,产生于直流电机 M 两端的自感电动势在开关  $S_1$  断开时就加到  $S_1$  的两个触点之间了。

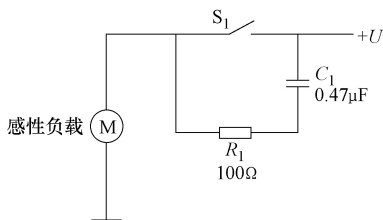


图 9-102 RC 消火花电路

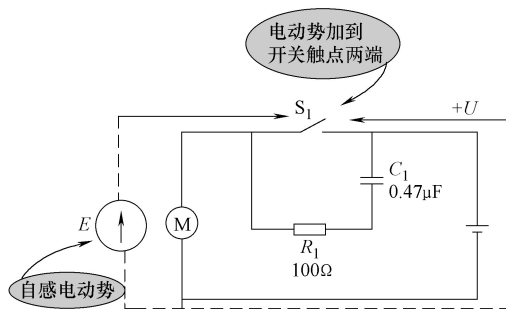


图 9-103 示意图

1) 消火花原理分析。在开关  $S_1$  断开时,由于  $R_1$  和  $C_1$  接在开关  $S_1$  两触点之间,在开关  $S_1$  上的打火电动势等于加在  $R_1$  和  $C_1$  的串联电路上。这一电动势通过  $R_1$  对电容  $C_1$  充电,  $C_1$  吸收了打火电能,使开关  $S_1$  两个触点的电动势大大减小,达到消火花的目的。

2) 电阻  $R_1$  的作用分析。由于对  $C_1$  的充电电流是流过电阻  $R_1$  的,所以  $R_1$  具有消耗充电电能的作用,这样打火的电能通过电阻  $R_1$  被消耗掉。

3) 元件参数。在这种 RC 消火花电路中,一般消火花电容取  $0.47\mu\text{F}$ ,电阻取  $100\Omega$ 。

## 2. RC 录音高频补偿电路

### 重要提示

磁性记录设备（以导磁材料为记录媒体的设备,如录音机、录像机）中,在录音时要求对录音信号进行高频信号补偿（按规定要求对高频信号提升和处理）。

如图 9-104 所示是录音高频补偿电路,它设在录音输出回路中。电路中的  $R_1$  是恒流录音（录音电流大小不与录音信号频率相关）电阻,  $C_1$  是录音高频补偿电容。这一电路由 RC 补偿电路和 LC 并联谐振补偿两部分电路组成,这里只介绍前面一种电路。

RC 录音高频补偿电路的工作原理:电容  $C_1$  和  $R_1$  并联,构成一个 RC 并联电路,这一 RC 并联电路串联在录音磁头  $\text{HD}_1$  回路中,这样录音磁头的阻抗和这个 RC 并联电路阻抗之和是录音放大器输出级的负载。

如图 9-105 所示是电路中  $R_1$ 、 $C_1$  并联电路的阻抗特性曲线,从曲线中可以看出,当录音信号频率低于转折频率  $f_0$  时,  $R_1$ 、 $C_1$  并联电路的阻抗不变,所以频率低于转折频率的录音信号其流过录音磁头的录音电流大小不随频率而改变。

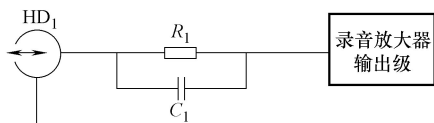


图 9-104 录音高频补偿电路

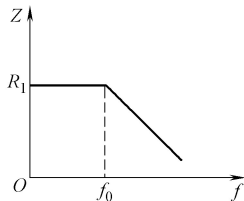


图 9-105  $R_1$ 、 $C_1$  并联电路的阻抗特性曲线

对于频率高于转折频率  $f_0$  的录音信号,该 RC 并联电路的阻抗随频率而下降,说明频率高于  $f_0$  的高频录音信号电流随频率的增高而增大,且录音信号频率越高,其录音信号电流越大,这样可以达到提升高频段录音信号的目的。

### ★9.7.2 图解传声器电路中的 RC 低频噪声切除电路

如图 9-106 所示是录音机传声器输入电路中的 RC 低频噪声切除电路。电路中的 MIC 是驻极体电容传声器，为两根引脚的传声器。CK<sub>1</sub> 是外接传声器插座，S<sub>I-1</sub> 是录放开关（一种控制录音和放音工作状态转换的开关），图示在录音（R）位置。电阻 R<sub>1</sub> 和 C<sub>1</sub> 构成低频噪声切除电路。

#### 1. 传声器电路工作分析

直流工作电压 +U 通过电阻 R<sub>2</sub> 给机内驻极体电容传声器 MIC 的 2 脚加上直流工作电压，这样传声器 MIC 便能进入工作状态。

#### 2. 传声器信号传输分析

如图 9-107 所示是传声器信号传输示意图，MIC 的 2 脚输出的传声器信号经过 R<sub>1</sub>、C<sub>1</sub> 至外接传声器插座 CK<sub>1</sub>，再通过录放开关 S<sub>I-1</sub> 和输入端耦合电容 C<sub>3</sub>，加到录音前置放大器的输入端，完成机内传声器信号的传输过程。

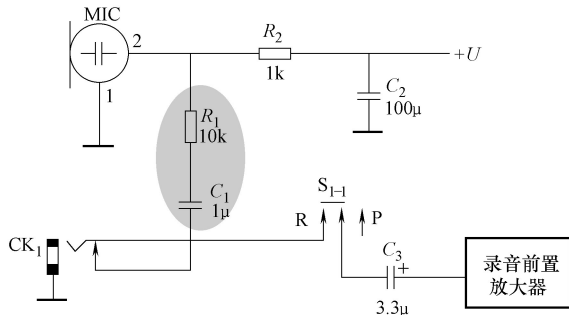


图 9-106 录音机传声器输入电路中的 RC 低频噪声切除电路



#### 重要提示

机内传声器信号的传输过程也可以用这样的方式表述：MIC 的 2 脚输出传声器信号→R<sub>1</sub> 和 C<sub>1</sub>（低频噪声切除电路）→外接传声器插座 CK<sub>1</sub>→录放开关 S<sub>I-1</sub>→输入端耦合电容 C<sub>3</sub>→录音前置放大器的输入端。

#### 3. R<sub>1</sub> 和 C<sub>1</sub> 低频噪声切除电路分析

当机壳振动时将引起机内传声器 MIC 的振动，导致 MIC 输出一个频率很低的振动噪声，从而在机内传声器工作时出现“轰隆、轰隆”的低频噪声，为此要在机内传声器输入电路中加入低频噪声切除电路，以消除这一低频的噪声。

R<sub>1</sub> 和 C<sub>1</sub> 串联在机内传声器信号的传输电路中，R<sub>1</sub> 和 C<sub>1</sub> 构成一个 RC 串联电路，如图 9-108 所示是这一 RC 串联电路的阻抗特性曲线。从曲线中可以看出，当传声器输出信号频率低于转换频率 f<sub>0</sub> 时，这一 RC 串联电路的阻抗随频率降低而增大，这样，流过 R<sub>1</sub> 和 C<sub>1</sub> 电路的低频噪声电流就减小。

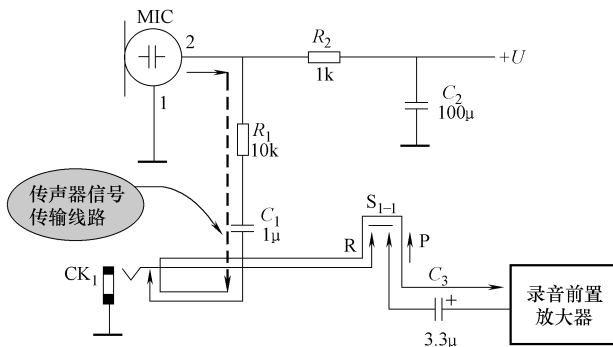


图 9-107 传声器信号传输示意图

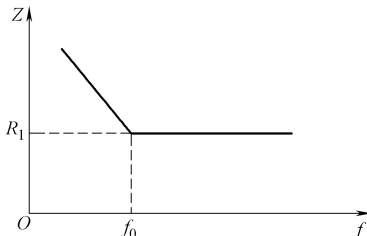


图 9-108 这一 RC 串联电路的阻抗特性曲线

只要将这一 RC 串联电路的转换频率 f<sub>0</sub> 设计得足够的低，就能消除机内话筒产生的“轰隆、轰隆”的低频噪声，而该 RC 串联电路对低频段的有用信号影响不是太大（当然对低频段的有用信号是有影响的），因为“轰隆、轰隆”低频噪声的频率比较低，在这样低频段内的有用信号很少。

### ★9.7.3 图解积分电路

积分电路由电阻和电容构成，与积分电路非常相近的电路还有微分电路。

#### 重要提示

在  $RC$  电路分析中，有时要用到时间常数这一概念。时间常数用  $\tau$  表示， $\tau = RC$ ，即电容量与电阻值之积。

在电容量大小不变时，电阻值决定了时间常数的大小。电阻值不变时，电容量的大小决定了时间常数的大小。

如图 9-109 所示是积分电路，输入信号  $U_i$  加在电阻  $R_i$  上，输出信号取自电容  $C_i$ 。输入信号是矩形脉冲，其波形如图 9-109b 所示。在积分电路中，要求  $RC$  电路中的时间常数  $\tau$  远大于脉冲宽度  $T_x$ 。当脉冲信号没有出现时，因输入信号电压为零，电路中没有电流流过，所以输出信号电压为零。

#### 1. 电路分析

1) 输入脉冲为高电平期间分析。当输入脉冲出现后，输入信号电压开始通过电阻  $R_i$  对电容  $C_i$  充电，在  $C_i$  上的电压极性为上正下负。由于这一电路的  $RC$  时间常数比较大，所以在  $C_i$  上的电压上升比较缓慢，是按指数规律上升的。

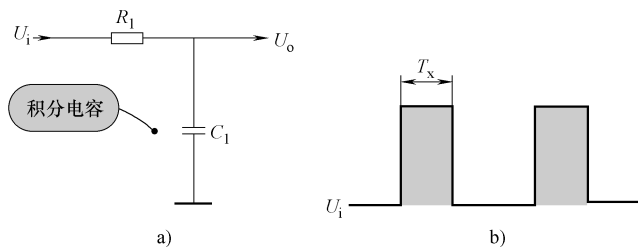


图 9-109 积分电路及输入电压波形

又因时间常数远大于脉冲宽度，对电容充电不久，输入脉冲就跳变到为零，对电容的充电就结束，也就是  $C_i$  上电压按指数规律上升了很小一段，由于是指数曲线的起始段，这一段是近似线性的，如图 9-110 所示。在这一充电期间，电流从上而下地流过  $C_i$ ，所以在  $C_i$  上的电压极性为上正下负。

积分电路充电过程中，充电电流  $I$  的大小可以近似地用下式决定：

$$I = \frac{U_i - U_o}{R_i}$$

由于积分电路的时间常数很大，输出信号电压还没有升高多少时，下一个输入脉冲就来到了，这样输出信号电压远小于输入信号电压，可以忽略输出信号电压的大小，这样上式可以由下式决定：

$$I \approx \frac{U}{R}$$

由上式可以看出，流过电容  $C_i$  的电流近似与输入信号电压成正比，所以  $C_i$  上的输出信号电压近似地与输入信号电压  $U_i$  的积分成正比，故将这种电路称为积分电路。

2) 输入脉冲为低电平期间分析。在输入脉冲消失后，输入端电压  $U_i$  为零，这相当于输入端对地短接。由于  $C_i$  上已经充到了上正下负的电压，此时  $C_i$  开始放电，放电电流回路是：如图 9-111 所示是放电回路示意图， $C_i$  上端  $\rightarrow R_i \rightarrow$  输入端  $\rightarrow$  输入信号源内电路  $\rightarrow$  地端  $\rightarrow C_i$  下端即地端。

放电也是按指数规律进行的，随着放电的进行， $C_i$  上的电压在下降，如图 9-112 所示。由于时间常数比较大，所以放电也是缓慢的。

#### 重要提示

当  $C_i$  中电荷尚未放完时，输入脉冲再次出现，开始对电容  $C_i$  再度充电，这样依次充电、放电循环下去。

积分电路能够取出输入信号的平均值。



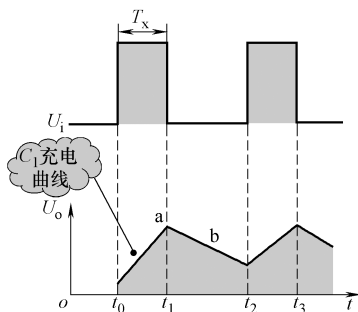


图 9-110 示意图

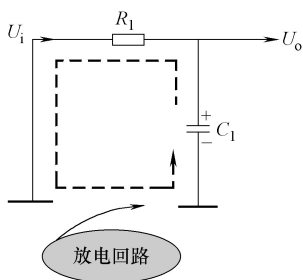


图 9-111 放电回路示意图

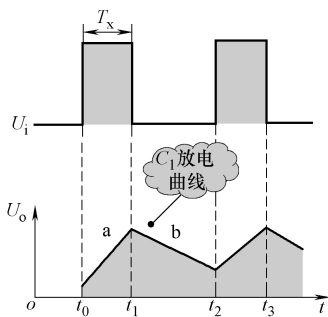


图 9-112 示意图

## 2. 场积分电路

如图 9-113 所示是黑白或彩色电视机场扫描电路中的场积分电路，图 9-113a 所示是一个两节积分电路（用两个积分电路连接起来的电路），图 9-113b 所示是行、场复合同步信号（电视中为了保证扫描一致的信号）示意图。

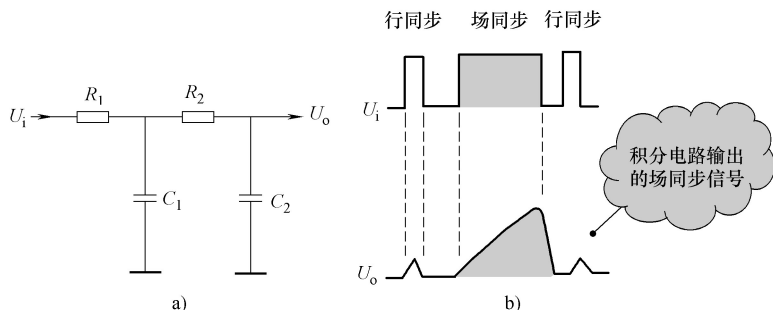


图 9-113 场积分电路

从图 9-113b 所示输入信号波形中可以看出，行与场同步信号的幅度相等，但宽度不同，行同步脉冲窄，场同步脉冲宽，这里的积分电路就是要从这一复合同步信号中，将行同步脉冲去掉，取出场同步信号。

当这一复合同步信号加到积分电路后，经  $R_1$  和  $C_1$  构成的第一节积分电路积分，其输出信号再加到由  $R_2$  和  $C_2$  构成的第二节积分电路中积分，得到输出信号，见图 9-113b 下面波形所示，在场同步脉冲期间内，输出信号  $U_o$  比较大，而在行同步脉冲期间输出信号小，这样达到了从输入信号  $U_i$  中取出场同步信号的目的。



### 重要提示

这一电路中采用两节积分电路的目的是为了进一步减小行同步脉冲出现期间，输出信号  $U_o$  的幅度，以便更好地取出场同步信号。

## ★9.7.4 图解 RC 去加重电路

去加重电路出现在调频收音电路和电视机的伴音通道电路中，在分析去加重电路的工作原理之前，先了解有关调频的噪声特性。

调幅（指调幅收音机所收信号的一种调制方式）和调频（指调频收音机所收信号的一种调制方式）信号中的噪声特性是不同的，如图 9-114 所示。

从图中可以看出，调幅噪声在不同频率下的大小相等，而调频则是随着频率升高，其噪声增大，这说明调频的高频噪声严重（相对于低频和中频而言）。

### 重要提示

为了改善高频段的信噪比（信号大小与噪声大小之比），调频发射机发射调频信号之前，对音频信号中的高频段信号要进行预加重，即先提升高频信号，在调频收音电路中则要设置去加重电路，以还原音频信号的原来特性。在去加重过程中同时也将高频段噪声加以去除，这就是为什么在调频收音电路中要设置去加重电路的原因。

#### 1. 单声道调频收音电路中去加重电路析

如图 9-115 所示是单声道调频收音电路中的去加重电路。图中的  $R_1$  和  $C_1$  构成去加重电路。

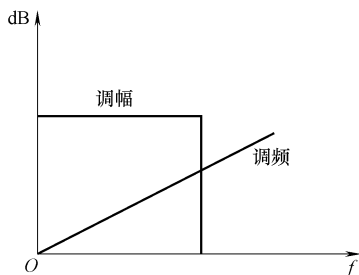


图 9-114 调频和调幅噪声特性曲线

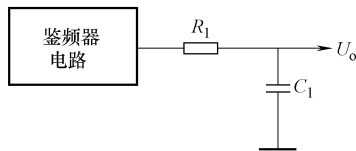


图 9-115 单声道调频收音电路中的去加重电路

对于单声道收音电路而言，去加重电路设在鉴频器电路（一种将调频广播信号转换成音频信号的电路）之后，即鉴频器输出的音频信号立即进入去加重电路中。

1) 第一种理解方法。由于电容  $C_1$  对高频信号的容抗比较小，对高频信号存在衰减作用，可达衰减高频段信号的目的。在衰减高频段信号的同时，也将高频段噪声同时消除。

2) 第二种理解方法。从另一个角度也可以理解去加重电路的工作原理， $R_1$  和  $C_1$  构成一个分压电路，对鉴频器输出的各频段音频信号进行分压衰减，由于电阻  $R_1$  对不同频率音频信号呈现相同的阻值，而电容  $C_1$  随频率升高而容抗下降，这样，这一  $RC$  分压电路对频率越高的音频信号分压衰减量越大，达到了去加重的目的。

经过去加重后的音频信号加到音频功率放大器中。

#### 2. 立体声调频收音电路中去加重电路分析

如图 9-116 所示是立体声调频收音电路中的去加重电路。这是一个双声道去加重电路，其中  $R_1$  和  $C_1$  构成左声道去加重电路， $U_o(L)$  是去加重后的左声道音频信号； $R_2$  和  $C_2$  构成右声道去加重电路， $U_o(R)$  是去加重后的右声道音频信号。

对于立体声调频收音电路而言，去加重电路必须设在立体声解码器（是一种还原立体声信号的电路）电路之后，由于立体声解码后得到了左、右声道两个信号，所以这时需要在左、右声道电路中各设置一个相同的去加重电路。左、右声道去加重电路的工作原理是相同的，并且与前面介绍的单声道去加重电路一样。

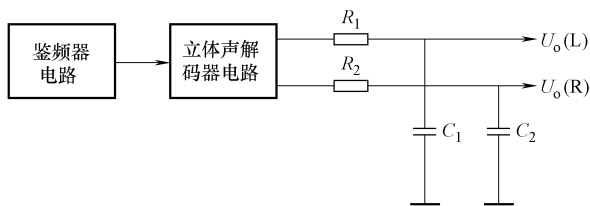


图 9-116 立体声调频收音电路中的去加重电路

### 重要提示

立体声调频收音电路中的去加重电路不能设置在鉴频器之后，这是因为从鉴频器输出的立体声复合信号中，19kHz 导频信号和 23~53kHz 边带信号会被去加重电路滤掉，这样就无法进行立体声解码，所以要将去加重电路设置在立体声解码器电路之后。

### ★9.7.5 图解微分电路



#### 重要提示

微分电路和积分电路在电路形式上相近，微分电路输出电压取自电阻，而且  $RC$  时间常数与积分电路不同。微分电路中，要求  $RC$  时间常数远小于脉冲宽度  $T_x$ 。

如图 9-117 所示是微分电路。从这一电路中可以看出，微分电路与积分电路在电路结构上只是将电阻和电容的位置互换了一下。当输入信号脉冲没有出现时，输入信号电压为零，所以输出信号电压也为零。

#### 1. 电路分析

1) 输入脉冲前沿期间分析。当输入脉冲出现时，输入信号从零突然跳变到高电平，由于电容  $C_1$  两端的电压不能突变， $C_1$  相当于短接，相当于输入脉冲  $U_i$  直接加到  $R_1$  上，此时输出信号电压等于输入脉冲电压，如图 9-118 所示。

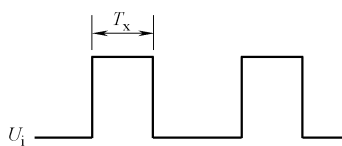
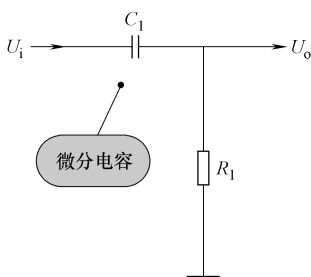


图 9-117 微分电路

2) 输入脉冲平顶期间分析。输入脉冲跳变后，输入脉冲继续加在  $C_1$  和  $R_1$  上，其充电电流回路仍然是经  $C_1$  和  $R_1$  到地，在  $C_1$  上充到左正右负的电压，流过  $R_1$  的电流为从上而下，所以输出信号电压为正。



#### 重要提示

由于  $RC$  时间常数很小，远小于脉冲宽度，所以充电很快结束。在充电过程中，充电电流是从最大变化到零的，流过  $R_1$  的电流是充电电流，因此在  $R_1$  上的输出信号电压也是从最大变化到零的。

充电结束后，输入脉冲仍然为高电平，由于  $C_1$  上充到了等于输入脉冲峰值的电压，电路中电流减小到零， $R_1$  上的电压降为零，所以此时输出信号电压为 0V，如图 9-119 所示。

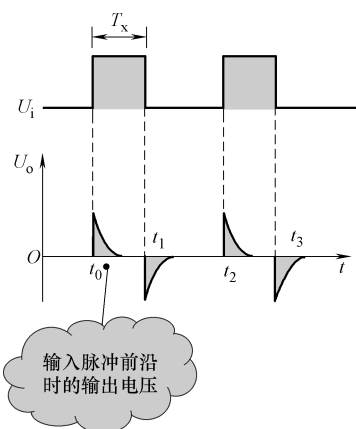


图 9-118 示意图

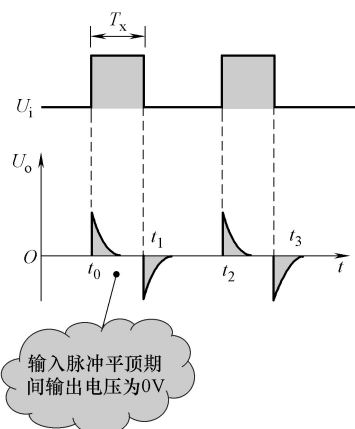


图 9-119 示意图

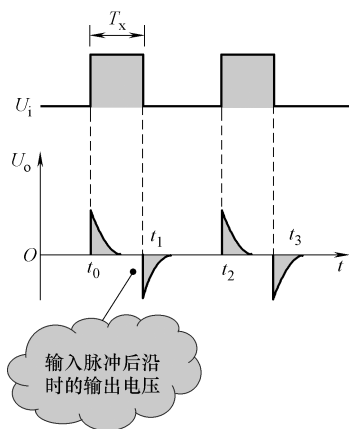


图 9-120 示意图

3) 输入脉冲后沿期间分析。当输入脉冲从高电平跳变到低电平时, 输入端的电压跳变为零, 这时的微分电路相当于输入端对地短接。此时,  $C_1$  两端的电压不能突变, 由于  $C_1$  左端相当于接地, 这样  $C_1$  右端的负电压为输出信号电压, 输出电压为负且最大, 其值等于  $C_1$  上已充到的电压值 (输入脉冲的峰值)。

输入脉冲从高电平跳变到低电平后, 电路开始放电过程, 由于放电回路的时间常数很小, 放电很快结束。放电电流从下而上地流过  $R_1$ , 输出信号电压为负。放电使  $C_1$  上电压减小, 放电电流减小直至为零, 这样, 输出信号电压从负的最大减小到零, 如图 9-120 所示。

当第二个输入脉冲到后, 电路开始第二次循环。

### 重要提示

由上述分析可知, 通过微分电路将输入的矩形脉冲信号变成了尖脉冲。微分电路能够取出输入信号中的突变成分, 即取出输入信号中的高频成分, 去掉低频成分, 这一点与积分电路相反。

## 2. 实用微分电路举例

如图 9-121 所示是实用集—基耦合双稳态电路。电路中,  $U_i$  为输入触发信号, 这是一个矩形脉冲信号, 信号波形如图中所示。这一输入信号加到  $C_1$  和  $R_1$  构成的微分电路中, 得到尖顶脉冲, 再通过二极管  $VD_1$  和  $VD_2$  分别加到  $VT_1$  和  $VT_2$  管基极上, 加到  $VT_1$  和  $VT_2$  管基极的尖顶脉冲是负脉冲, 如图中所示。

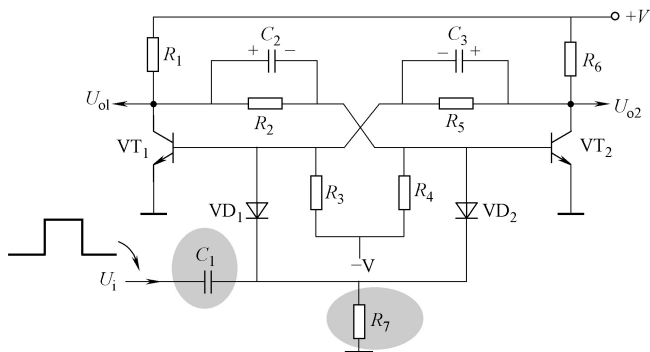


图 9-121 实用集—基耦合双稳态电路

如图 9-122 所示是这一电路中的输入触发电路。电路中的  $C_1$  和  $R_1$  构成微分电路, 输入脉冲信号是矩形脉冲, 输入信号经这一微分电路后, 获得正、负尖顶脉冲。

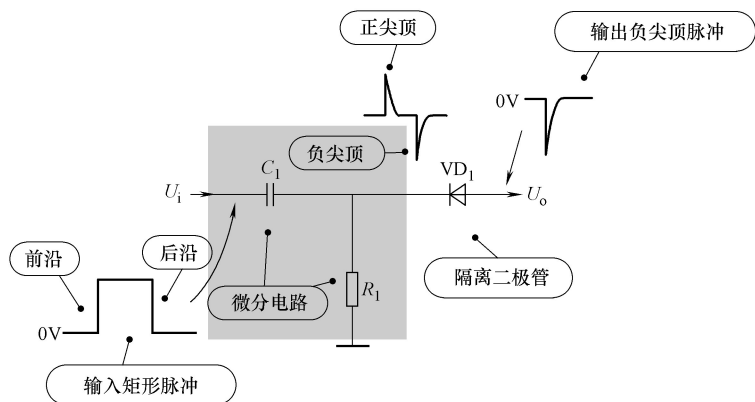


图 9-122 输入触发电路



由于二极管具有单向导电特性,  $VD_1$  只能让负尖顶脉冲通过, 将正尖顶脉冲去掉。

### ★9.7.6 图解 $RC$ 低频衰减电路和 $RC$ 低频提升电路

#### 1. $RC$ 低频衰减电路

如图 9-123 所示是采用  $RC$  串联电路来衰减低频信号的电路。电路中,  $VT_1$  构成一级共发射极音频放大器, 电阻  $R_1$  和  $R_2$  构成  $VT_1$  基极偏置电路,  $R_3$  是  $VT_1$  集电极电阻,  $R_4$  是  $VT_1$  发射极负反馈电阻,  $R_5$  和  $C_4$  的串联电路并联在负反馈电阻  $R_4$  上, 也是负反馈电路的一部分。

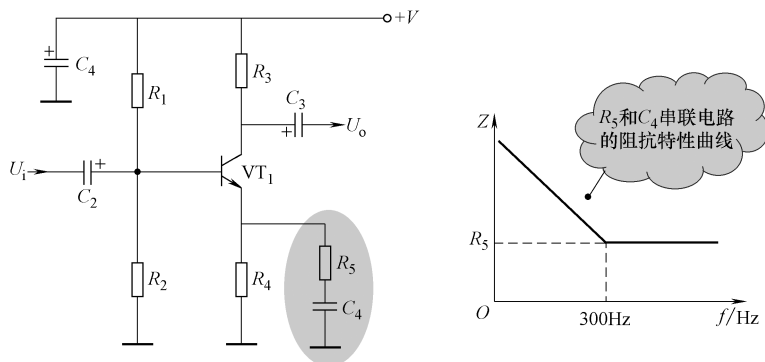


图 9-123  $RC$  串联低频衰减电路

对于负反馈电阻  $R_4$  而言, 其阻值越大, 负反馈量越大, 放大器的放大倍数越小。对于交流信号负反馈而言,  $VT_1$  的发射极负反馈电阻应该是  $R_4$  与  $R_5$  串  $C_4$  的并联后总阻抗, 由于  $R_4$  阻值不随频率变化而变化, 所以主要是分析  $R_5$  和  $C_4$  串联电路阻抗随频率变化时负反馈量的改变。

见  $R_5$  和  $C_4$  串联电路阻抗特性曲线, 当信号频率低于 300Hz 时, 该电路的阻抗随频率降低而增大, 这样, 与  $R_4$  并联后总的负反馈阻抗仍然是增大的, 负反馈量在加大, 放大倍数就减小。频率越低,  $R_5$  和  $C_4$  电路的阻抗越大, 放大器的放大倍数就越小。所以, 这一电路是对频率低于 300Hz 的信号进行衰减的电路。

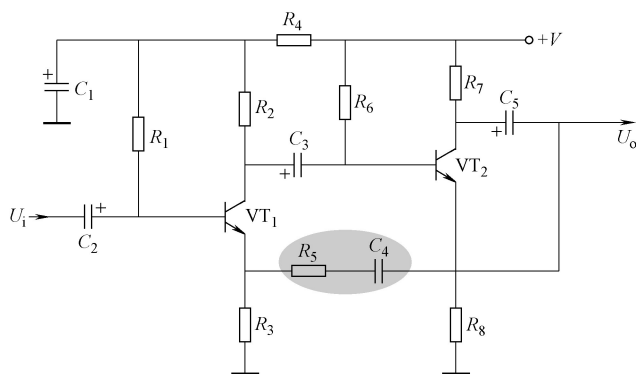


图 9-124 采用  $RC$  串联电路构成的低频提升电路

对频率高于 300Hz 的信号, 由于  $C_4$  的容抗远小于  $R_5$  的阻值, 这样, 这一负反馈电路就仅是  $R_4$  和  $R_5$  的并联, 由于电阻对不同频率信号的阻值不变, 所以该放大器对频率高于 300Hz 的信号放大倍数不随频率而变。

#### 2. $RC$ 低频提升电路

如图 9-124 所示是采用  $RC$  串联电路构成的低频提升电路。电路中的  $VT_1$  和  $VT_2$  构成双管音频放大器, 两管均接成共发射极电路。  $R_5$  和  $C_4$  构成电压串联负反馈电路 (一种常见的负反馈电路,

详见有关负反馈放大器电路)。



电路分析提示

对于电压并联负反馈电路而言，负反馈电路的阻抗越大，负反馈量越小，放大器的放大倍数越大。

这是分析这一低频提升电路的基本思路，不掌握这一点就无法分析这一电路的工作原理。

如图 9-125 所示是这一  $RC$  串联电路的阻抗特性曲线，频率低于  $800\text{Hz}$  时阻抗随频率降低而升高。

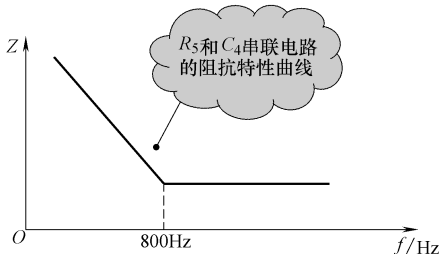


图 9-125  $RC$  串联电路的阻抗特性曲线

1) 频率低于  $800\text{Hz}$  的信号分析。对于频率低于  $800\text{Hz}$  的信号而言，由于  $R_5$  和  $C_4$  负反馈电路的阻抗增大，所以负反馈量减小，放大器的放大倍数增大，这样，频率低于  $800\text{Hz}$  的低频信号得到了提升。

2) 频率高于  $800\text{Hz}$  的信号分析。对于频率高于  $800\text{Hz}$  的信号而言，由于  $C_4$  的容抗已经远小于  $R_5$  的阻值，所以此时负反馈电路的阻抗最小且不变，此时负反馈量最大，放大器的放大倍数最小。

阅读完成时间：\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日，用时\_\_\_\_天。

签 名：\_\_\_\_

阅读体会：(请写 10 个收获最大的知识点关键词)

阅读困惑：(请写 10 个最难理解的知识点关键词)



## 图解电源电路

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！



### 重要提示

凡是采用交流供电的电子设备，这种电源电路是必不可少的，因为电子电路的工作电压是直流电源。电源电路中包含许多单元电路，各单元电路组成电源系统，是向电子设备提供不同工作电压，提供电能的系统。

通常所讲的直流电源电路是将交流市电转换成直流工作电压的电路。直流电源电路装置有两种情况：

- 1) 与整机电路装配在一起的电源电路。
- 2) 独立外壳的电源电路，这时它又称为电源适配器。

如图 10-1 所示是两种独立外壳的直流电源。无论是独立外壳的电源，还是与整机电路装配在一起的电源电路，其电路结构是一样的。



a) 小型电源

b) 开关稳压电源

图 10-1 两种独立外壳的直流电源

### 10.1 直流电源电路综述

本节阅读建议：快速阅读，全面了解电源电路相关基础知识。

本节难度系数：3 级。

本节记忆系数：7 级。

#### ★10.1.1 图解无稳压电源电路框图及各单元电路作用

图 10-2 所示是无稳压电源电路框图，也是用得最多的一种电源电路。电源电路由电源开关电路、降压电路、整流电路、滤波电路几部分组成。

##### 1. 电源电路各部分电流回路分析

在电源电路中，会出现交流电、脉动性直流电、交流成分和直流电四种电信号。

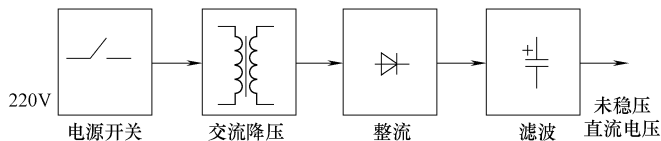


图 10-2 无稳压电源电路框图

1) 交流电回路。图 10-3 所示是电源电路中交流电回路示意图，从图中可以看出，这一交流电回路是 220V 交流电回路。

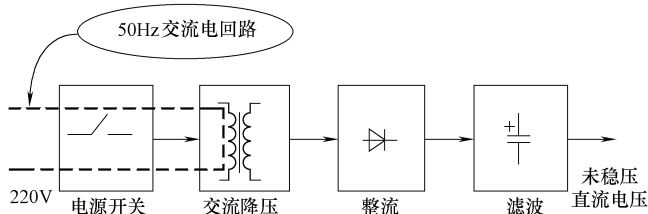


图 10-3 电源电路中交流电回路示意图

2) 脉动性直流电回路。图 10-4 所示是脉动性直流电回路示意图，这一回路为整流二极管回路，交流电经整流二极管整流得到了脉动性直流电。

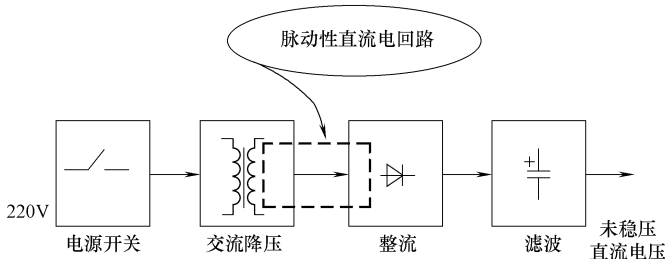


图 10-4 脉动性直流电回路示意图

图 10-5 所示是半波整流后的脉动性直流电波形示意图。

3) 交流成分电流回路。图 10-6 所示是交流成分电流回路示意图，整流后产生的脉动性直流电中含有丰富的交流成分，它们通过滤波电容回路，这样这些交流成分被滤除掉。

4) 直流电流回路。图 10-7 所示是直流电流回路示意图，直流电流是流过负载的电流， $R_L$  是电源电路的负载。

## 2. 电源开关电路作用

电源开关电路用来控制电源电路是否进入工作状态。电源开关接通，整机电路获得电源而工作；电源开关断开，整机电路因为没有电源而停止工作。

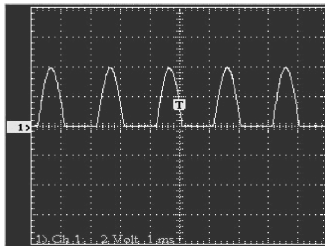


图 10-5 半波整流后的脉动性直流电波形

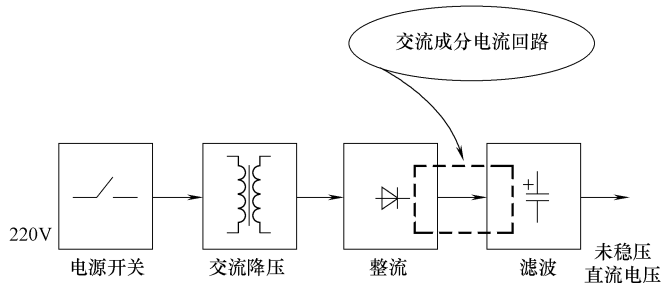


图 10-6 交流成分电流回路示意图

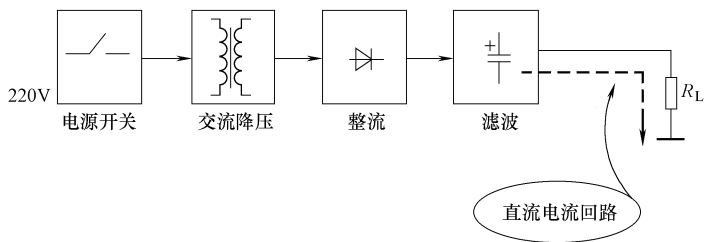


图 10-7 直流电流回路示意图

### 3. 交流降压电路作用

这一单元电路主要使用电源变压器。交流降压电路的作用是：由于输入电源电路的交流市电压高达 220V，而直流工作电压通常只需要很低的电压，所以交流市电压在进入电源电路后首先加到交流降压电路中，对很高的交流电压进行降压，降至几伏或几十伏的适当交流电压。

 **重要提示**

电源电路中的交流降压电路通常采用一种称之为变压器的元件来完成降压任务，这种变压器是一种能够降低 220V 交流市电压的降压变压器，在电源电路中的这种变压器通常称为电源变压器。图 10-8 所示是一种电源变压器实物示意图。

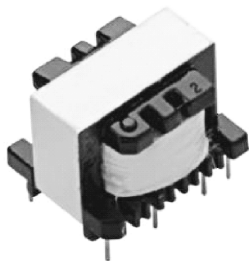


图 10-8 一种电源变压器实物示意图

### 4. 整流电路作用

这一单元电路主要使用整流二极管。整流电路是电源电路中的核心电路，它的作用是将交流电压通过整流二极管（通常是整流二极管，当然还可以使用其他元器件，如整流桥堆）转换成单向脉冲性的直流电压，整流是将交流电压转换成直流电压过程中的关键一步。如图 10-9 所示是整流二极管和整流桥堆实物示意图。

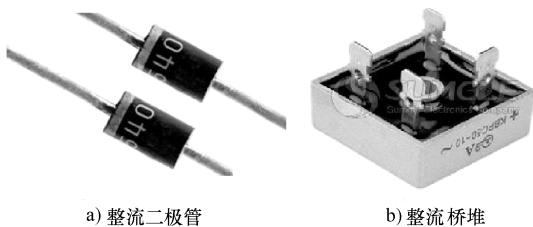


图 10-9 整流二极管和整流桥堆实物示意图

 **重要提示**

无论什么类型的电源电路，都需要整流电路来完成交流电至直流电的转换。整流电路的类型比较少，但具体电路的变化比较多，电子电路中基本的整流电路有三种：半波整流电路、全波整流电路和桥式整流电路。

### 5. 滤波电路作用

这一单元电路主要使用滤波电容器，且为有性极的电解电容器。图 10-10 所示是滤波电容器实物示意图。

从整流电路输出的单向脉动性直流电压是不能作为电子电路的直流工作电压的，因为这种单向脉动性直流电压中的交流成分很多，它必须通过滤波电路的滤波，才能得到可以用于电子电路的直流工作电压。

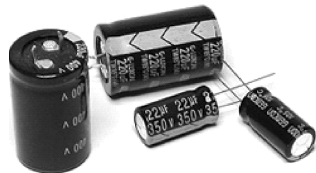


图 10-10 滤波电容器实物示意图

## ★10.1.2 图解调整管稳压电源电路框图

### 1. 框图

图 10-11 所示是调整管稳压电源电路框图，在一些对直流工作电压稳定性要求比较高的场合下，需要直流稳压电路。

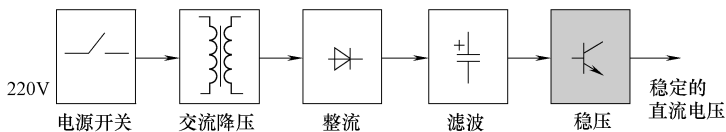


图 10-11 调整管稳压电源电路框图

从图 10-11 所示的框图中可以看出，它是在普通电源电路的基础上，再加入稳压电路。

### 2. 稳压电路作用

调整管稳压主要使用晶体管。

#### 重要提示

电源电路有一个直流输出电压大小随交流市电输入电压大小变化而变化的现象，同时电源电路的直流输出电压还随电源电路负载大小变化而变化，为了减小输入电压大小和电源负载大小对电源电路直流输出电压的大小变化影响，可以采用直流稳压电路，以稳定电源电路输出的直流电压。

稳压电路是一种能够在一定范围内稳定输出电压的电路。稳压电路有交流稳压电路和直流稳压电路两种，这里的稳压电路是指直流稳压电路，它的作用是将滤波电路输出的直流工作电压稳定在某一电压上。

### 3. 直流电源电路工作原理简述

电源电路工作过程是：220V 交流市电通过高频抗干扰电路加到降压电路中，将 220V 交流电压幅度下降至合适的交流电压值，然后送入整流电路中，将交流电压转换成单向脉动性直流电压，再送入滤波电路中将单向脉冲直流电压中的交流成分去掉，得到能够用于电子电路的直流工作电压，这一直流电压再加到直流稳压电路中，进行直流稳压处理，得到比较稳定的直流工作电压。

## ★10.1.3 图解开关电源电路框图

### 1. 开关电源电路框图

图 10-12 所示是开关电源电路框图。电路主要由整流电路、滤波电路、开关稳压电路、保护电路组成。

### 2. 开关电源电路

这一电源电路与前面几种电源电路主要不同之处是 220V 的交流市电没有经过降压电路，而是直接加到了整流电路中进行整流，在滤波电路之后又加了开关稳压电路和保护电路。

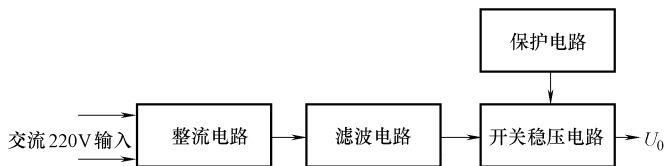


图 10-12 开关电源电路框图

另外，这种电源电路的具体电路相当复杂，电路变化也多，保护电路也很复杂。

电源电路中的整流电路直接整流 220V 交流电压，交流市电压比较高，所以要求这一整流电路中的整流二极管承受的反向耐压比较高。在不同的整流电压大小下，对整流二极管的反向耐压要求是不同的。

#### 重要提示

开关稳压电路是直流稳压电路中的一种，对直流电压进行稳定。这种稳压电路的性能比普通的

调整管稳压电路性能要好许多，并且能够比较容易地加入各种保护电路。开关稳压电路的变化多，电路结构比较复杂，识图也相当困难。

设置在开关电源电路的保护比较复杂，所能保护的功能也比较齐全。在保护电路动作时，往往使开关电源电路停止工作。

在开关稳压电路中，很容易加入各种形式的保护电路。

★10.1.4 电源电路种类

了解电源电路的种类可以从整体上对电源电路有一个认识，有利于学习电源电路知识。

按有无直流稳压功能划分电源电路有下列两种：

1) 没有直流稳压功能的电源电路，这种电源电路的数量很多，大量的电子电器都是采用这种电源电路。

2) 具有直流稳压电路的电源电路，这种电源电路比较复杂，成本比较高。这种电源电路在电子电器中应用也不少。

1. 按直流稳压电路类型划分（见表 10-1）

表 10-1 直流稳压电路类型划分

| 名 称       | 电路示意图 | 说 明                                                                                        |
|-----------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 稳压二极管稳压电路 |       | 这种稳压电路中利用硅稳压二极管的稳压特性,实现直流工作电压的稳压输出。这种直流稳压电路的稳压特性一般,往往只用于稳定局部的直流电压,在整机电源电路中一般不用这种稳压电路       |
| 串联调整管稳压电路 |       | 这种稳压电路利用了晶体管集电极与发射极之间阻抗随基极电流大小变化而变化的特性,进行直流输出电压的自动调整,实现直流输出电压的稳定。在这种稳压电路中的晶体管(调整管)一直处于导通状态 |
| 开关型稳压电路   |       | 这是一种高性能的直流稳压电路,稳压原理比较复杂,在这种电路中的晶体管(开关管)处于导通、截止两种工作状态的转换中,即工作在开关状态,所以开关型稳压电路由此得名            |
| 三端集成稳压电路  |       | 这是一种集成电路的稳压电路,其功能是稳定直流输出电压,在许多场合,这种集成电路有着广泛应用,只有三根引脚,使用很方便                                 |

2. 按直流电压输出电路数目划分

1) 只有一路直流输出电压的电源电路，如图 10-13 所示。这种电源电路比较简单，只能输出一路直流工作电压，电源电路本身只能输出一个等级的直流工作电压。但是，这种电源电路并不代表只能有一种等级的直流工作电压，它可以通过直流降压电路来得到更多等级的直流输出电压。

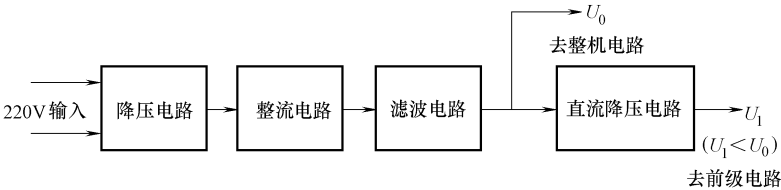


图 10-13 只有一路直流输出电压的电源电路框图

重要提示

从电源电路输出的直流工作电压  $U_0$  最高，经直流降压电路后获得电压等级更低的直流工作电压  $U_1$ 。这样的直流降压电路可以一节节串联下去，便能得到更多的大小不同的直流工作电压。

图 10-14 所示是这种电源电路输出电流回路示意图,从图中可以看出,滤波电路输出的直流电流分成了两路。

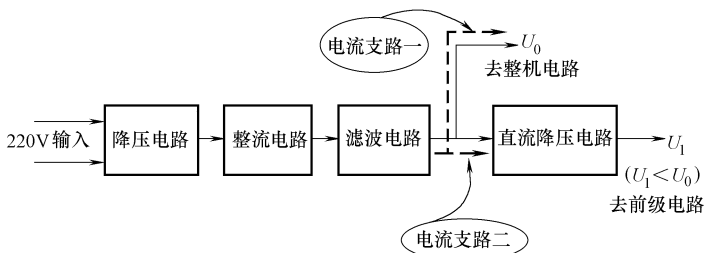


图 10-14 电源电路输出电流回路示意图

2) 多路直流输出电压的电源电路。图 10-15 所示是两路直流输出电压的电源电路框图。这种电源电路能够直接输出两个或更多等级的直流工作电压,而不是通过直流降压电路来得到多种等级的直流工作电压。

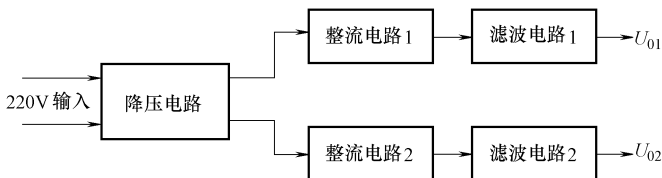


图 10-15 两路直流输出电压的电源电路框图

这一电源电路有两套整流和滤波电路,降压电路共用。220V 交流市电经降压电路后得到两路交流低电压输出,分别加到各自的整流、滤波电路中,得到直流工作电压  $U_{01}$  和  $U_{02}$ 。



#### 重要提示

由于从降压电路输出了两路交流低电压,且这两个交流电压的大小不同,这样电源电路输出的两路直流工作电压  $U_{01}$  和  $U_{02}$  大小不同。如果从降压电路输出更多路的交流低电压,并配置相应的整流、滤波电路,就能得到更多路的直流工作电压。

图 10-16 所示是这一电源电路电流回路示意图,从图中可以看出,它从降压电路输出端开始电路分成了两个支路。

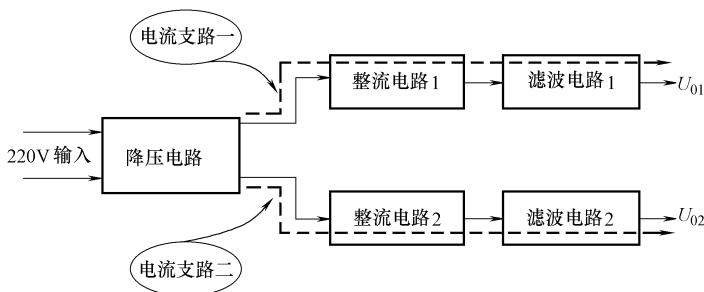


图 10-16 电源电路电流回路示意图

3) 能够同时输出直流和交流电压的电源电路,如图 10-17 所示。

一些电子电器中,不仅需要电源电路能够输出直流工作电压,同时还要求输出适当大小的交流工作电压,这种电源电路就能够同时输出直流和交流两种工作电压。

从降压电压输出两种交流低电压:一路加到整流、滤波电路,得到直流工作电压  $U_{02}$ ;另一路



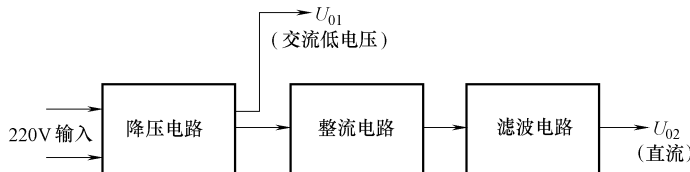


图 10-17 输出直流和交流工作电压的电源电路

直接输出一个交流低电压  $U_{01}$ ，加到整机电路的需要交流低电压的电路中。  
图 10-18 所示是这一电源电路电流回路示意图，从图中可以看出，从降压电路输出端开始分成两个支路。

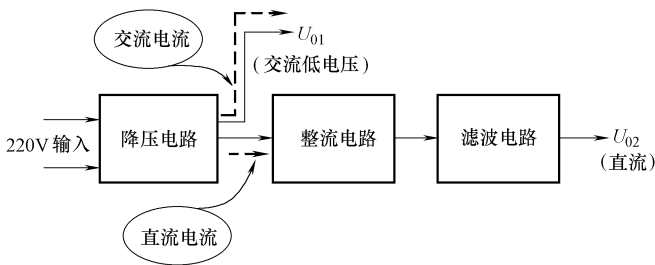


图 10-18 电源电路电流回路示意图

3. 按直流输出电压极性划分

1) 输出正极性直流工作电压的电源电路，如图 10-19 所示。这是最常见的电源电路，电源电路输出端的直流工作电压最高，地线的直流电压为 0V，是整机电路中最低的直流电压。

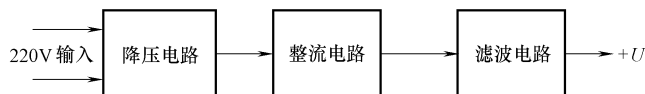


图 10-19 输出正极性直流工作电压电源电路

图 10-20 所示是这一电源电路输出电流回路示意图，电流方向是从上向下地流过负载  $R_L$ 。

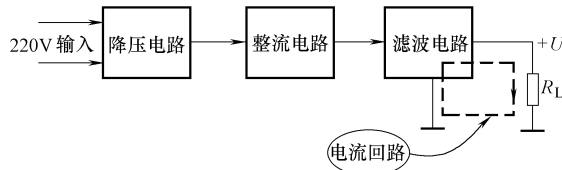


图 10-20 电流回路示意图

2) 输出负极性直流工作电压的电源电路，如图 10-21 所示。这种电源电路不常见，电源电路输出端的直流工作电压最低，地线的直流电压为 0V，是整机电路中最高的直流电压。

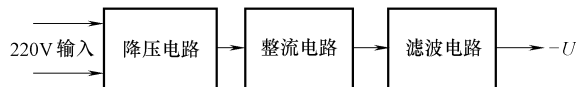


图 10-21 输出负极性直流工作电压的电源电路

电路检修提示

对于这种电源电路的检修，如何测量电路中的直流电压，都是负电压，注意万用表直流电压挡的红表笔要接地线，黑表笔接电路中的测试点。

图 10-22 所示是这一电源电路输出回路电流示意图，从图中可以看出，流过负载  $R_L$  的电流方

向是从下而上。

3) 输出正、负极性直流工作电压的电源电路,如图 10-23 所示。

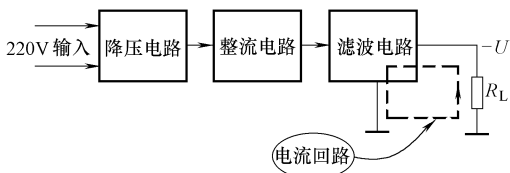


图 10-22 电流回路示意图

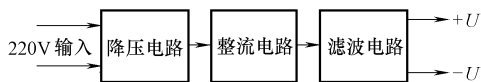


图 10-23 输出正、负极性直流工作电压电源电路

这种电源电路中,电源电路在输出正极性直流电压的同时,还能输出另一组负极性的直流电压。整机电路中,地线的直流电压为 0V,正极性直流工作电压输出端的直流电压最高,负极性直流工作电压输出端的直流电压最低,正、负极性直流电压都是以地线为参考点。

图 10-24 所示是这一电源电路输出回路电流示意图,它有共有三个电流回路。

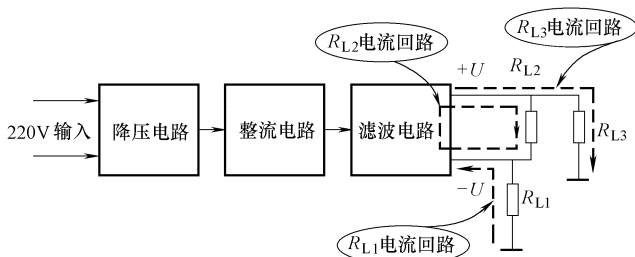


图 10-24 电源电路输出回路电流示意图

#### 4. 按电源电路数量划分

按电源电路数量划分直流电源电路主要有三种:

- 1) 整机电路通常只有一个电源电路,通常情况下是这种电源电路。
- 2) 一些电子电器中(如部分的遥控彩色电视机)会出现两个电源电路,一个是主电源电路,另一个是副电源电路,副电源电路具有控制主电源电路的作用。
- 3) 一些电子电器中(如电视机电路)除整机电源电路之外,还会在整机电路中出现用于局部电路的电源电路,例如电视机中的高压、中高压电源电路。

### ★10.1.5 直流电源电路几个特点

电源电路中是各种整机电路的电动力源,各种电子电器都含有电源电路。整机电源电路的“一举一动”都将影响整机电路的正常工作。



#### 电路检修提示

电源电路是整机各系统电路的电源供给电路,电源电路的工作状态直接影响整机各系统电路的工作情况,了解这些对检修整机电路故障很重要。

#### 1. 电源电路输入交流电压输出直流电压

图 10-25 所示是电源电路输入电压与输出电压波形示意图。从图中可以看出,输入电源电路的是交流市电,经过电源电路的处理之后,输出的是直流工作电压。

我国交流市电的电压是 220V,所以输入电源电路是 220V、50Hz 交流电压。但是,对于一些进口电子电器或一些出口的电子电器,会出现 220V 和 110V、60Hz 两种交流市电压的输入电路,以适应世界不同地区的不同交流市电压输入。



## 2. 电源电路直接影响整机电路工作状态

图 10-26 所示是电源电路与整机电路之间关系示意图。从图中可以看出, 电源电路输出的直流电压直接为整机电路服务。

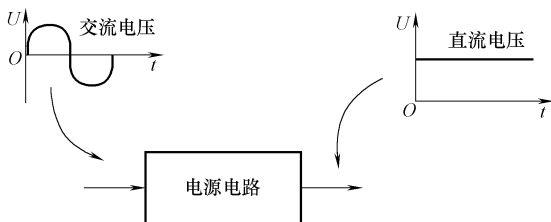


图 10-25 电源电路输入电压与输出电压波形示意图

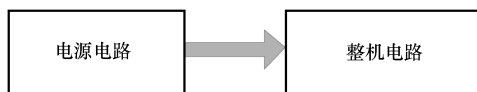


图 10-26 电源电路与整机电路之间关系示意图



### 电路检修提示

电源电路出了故障导致整机没有直流电压输出, 这时整机各系统电路都因为没有直流工作电压而停止工作; 如果电源电路出故障导致整机直流输出电压升高许多, 这将使整机各系统电路的直流工作电压相应升高, 将会严重影响整机各系统电路的工作安全。

## 3. 电源电路输出的直流电压在整机直流电压中最高

电源电路所输出的直流工作电压在整机电路中是最高的, 而且输出电流的能力最强。

电源电路输出的直流工作电压通常直接加到功率放大器这样的后级电路中, 作为直流工作电压, 如图 10-27 所示, 功率放大电路得到的直流工作电压为整机最高, 且消耗的直流电源功率也最大。

电源电路输出的直流工作电压还要通过一节节的  $RC$  滤波电路或电子滤波电路进行降压和滤波, 再送到整机电路中的一些前级电路中, 如图 10-28 所示。



图 10-27 电源电路输出直流工作电压直接供给功率放大电路示意图

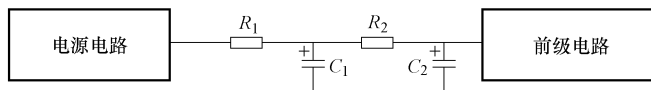


图 10-28 电源电路给前级电路供电示意图

图 10-29 所示是这一前级电压供给电路直流电流回路示意图。

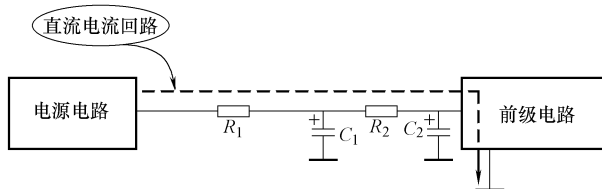


图 10-29 前级电压供给电路直流电流回路示意图

## 4. 直流电源电路中单元电路识别方法



### 电路分析提示

整机电路图中, 电源电路中的元器件画在一起, 各种类型的电子电器电源电路图在整机电路图中的位置有一定的规律, 例如, 音响中电源电路图一般画在整机电路图的右下方, 掌握了这样的规律比较容易从整机电路图中很快找到电源电路。

根据电源电路中的元器件电路符号更能准确地整机电路中确定电源电路的位置，对电源单元电路位置识别方法说明如表 10-2 所示。

表 10-2 电源单元电路位置识别方法说明

| 名称         | 示意图 | 说明                                                                                    |
|------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 电源变压器和电源开关 |     | 根据电源变压器的电路符号、电源开关的电路符号比较容易找到整机电路图中的电源电路位置,因为电源变压器、电源开关电路符号在整机电路图中只有一个,且特征明显,很容易找到     |
| 整流电路       |     | 整机电路图中,如果有数只二极管在一起,通常是 4 只,或有许多二极管在一起时,这很可能就是电源电路,这些二极管是电源电路中的整流二极管,根据这一电路特征知道是电源电路所在 |
| 滤波电路       |     | 发现整机电路图中有只容量非常大(数千微法)的电容器时,那这是电源电路中的滤波电容,在它附近的电路则是电源电路                                |

## 10.2 图解电源变压器电路和整流电路

本节阅读建议：精心阅读，全面掌握各种类型的电源变压器电路和整流电路工作原理。本节所需要的基础知识是变压器的电压变换特性和二极管的单向导电特性等。

本节难度系数：5 级。

本节记忆系数：8 级。

### ★10.2.1 图解电源开关电路和变压器降压电路

#### 1. 双刀电源开关电路和变压器降压电路

图 10-30 所示是一种双刀电源开关电路和变压器降压电路。电路中的  $S_{1-1}$  和  $S_{1-2}$  是双刀电源开关， $FU_1$  是熔断器， $T_1$  是电源变压器，它内部设有屏蔽层。

当双刀电源开关  $S_{1-1}$  和  $S_{1-2}$  接通时，220V 交流电压通过  $S_{1-1}$  和  $S_{1-2}$ 、交流输入回路中熔断器  $FU_1$  加到电源变压器一次绕组两端，一次绕组中便产生交流电流，如图 10-31 所示，这样二次绕组输出低压的交流电压。

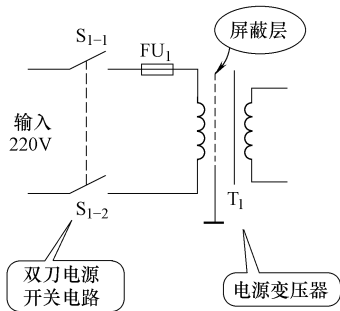


图 10-30 一种双刀电源开关电路和变压器降压电路

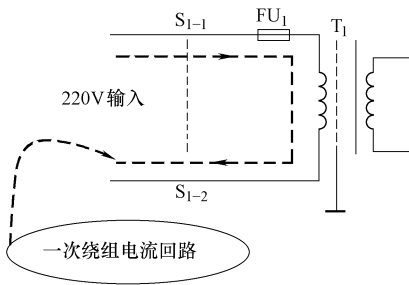


图 10-31 一次绕组电流回路示意图

电路中的电源开关  $S_{1-1}$  和  $S_{1-2}$  采用双刀开关, 更有利于安全, 当它断开时, 同时切断了电源变压器  $T_1$  一次绕组两端的电压。

熔断器起过电流保护作用。当电源电路出现过电流故障时,  $T_1$  一次回路电流增大, 流过  $FU_1$  的电流大到一定程度时,  $FU_1$  自动熔断, 防止电路故障的进一步扩大。



### 重要提示

电源变压器  $T_1$  的一次绕组与二次绕组之间加有屏蔽层, 该屏蔽层的一端接地, 这一结构相当于一个小电容, 能将从交流市电窜入电源变压器的高频干扰旁路到地, 而不让高频干扰加到变压器的二次绕组中, 达到抗干扰的目的。

这一抗干扰电路通过电源变压器本身实现, 是一种磁屏蔽抗干扰方式。

## 2. 具有交流输入电压转换功能的电源变压器降压电路

图 10-32 是具有交流输入电压转换功能的电源变压器降压电路。电路中,  $T_1$  是电源变压器,  $S_1$  是一个单刀双掷交流电压转换开关。

1) 220V/110V 交流输入电压转换电路分析。在 220V 地区使用时, 交流电压转换开关  $S_1$  在图示的“220V”位置上, 这时 220V 交流电压加到  $T_1$  全部的一次绕组上, 这时  $T_1$  二次侧输出交流电压为  $U_o$ 。图 10-33 所示是 220V 输入电压时的电流回路示意图。

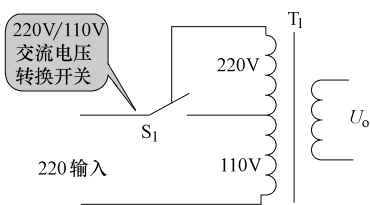


图 10-32 具有交流输入电压转换功能的电源变压器降压电路

在 110V 地区使用时, 交流电压转换开关  $S_1$  转换到图示“110V”位置上, 这时 110V 交流电压加到  $T_1$  一部分的一次绕组上, 此时二次绕组输出交流电压大小也是  $U_o$ , 大小不变, 实现交流输入电压转换。图 10-34 所示是 110V 输入电压时的电流回路示意图。

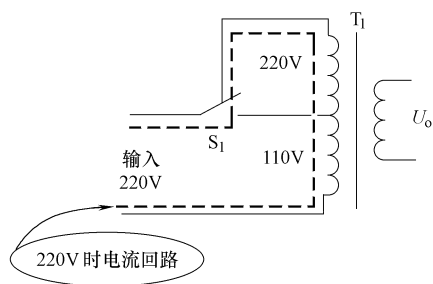


图 10-33 220V 输入电压时的电流回路示意图

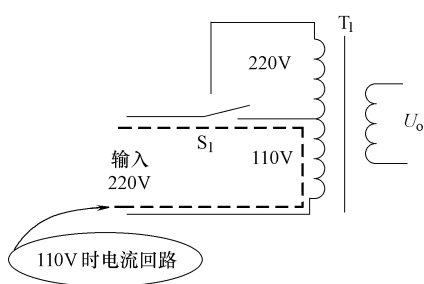


图 10-34 110V 输入电压时的电流回路示意图

2) 交流输入电压转换原理。这种交流电压转换电路利用了变压器的一次绕组抽头。变压器有一个特性, 即一次和二次绕组每伏电压的匝数相同。

如果这个电源变压器一次绕组共有 2200 匝, 二次绕组共有 50 匝, 那么二次绕组输出 5V 交流电压, 每伏为 10 匝, 一次和二次绕组是一样的。



### 分析结论

在电源变压器  $T_1$  一次全部绕组为 2200 匝时, 在 110V 抽头至下端绕组的匝数是 1100 匝, 当送入 110V 交流电压时, 也是每伏为 10 匝绕组, 所以二次绕组同样输出 5V, 实现了不同交流输入电压下电源变压器  $T_1$  有相同交流输出电压的功能。

## ★10.2.2 图解全波整流电路



### 电路种类提示

电源电路中的整流电路主要有半波整流电路、全波整流电路和桥式整流电路，使用量最多的是全波整流电路和桥式整流电路。

### 1. 正极性全波整流电路

图 10-35 所示是正极性全波整流电路。电路中， $VD_1$  和  $VD_2$  是两只整流二极管， $R_L$  是这一全波整流电路的负载。 $T_1$  是电源变压器，这一变压器的特点是二次绕组有一个抽头，且为中心抽头，这样抽头以上和以下二次绕组输出的交流电压大小相等。

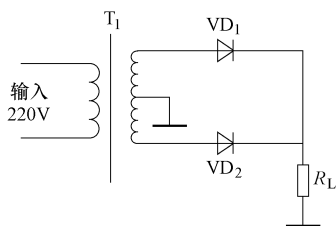


图 10-35 正极性全波整流电路

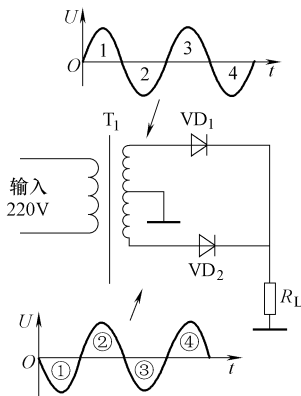


图 10-36 电源变压器  $T_1$  二次绕组两端交流电压示意图

当电源变压器  $T_1$  二次绕组上端输出正半周交流电压时，二次绕组下端输出大小相等的负半周交流电压。图 10-36 所示是电源变压器  $T_1$  二次绕组两端交流电压示意图。

1) 半周分析。 $T_1$  二次绕组上端正半周交流电压“1”使  $VD_1$  导通，图 10-37 所示是  $VD_1$  导通电流回路示意图， $VD_1$  导通后的电流回路是：二次绕组上端→整流二极管  $VD_1$  正极→ $VD_1$  负极→ $R_L$ →地端→二次绕组中心抽头→二次绕组中心抽头以上绕组构成回路。

从图中可以看出，这时电流从上而下地流过负载  $R_L$ ，所以输出的是正极性单向脉动直流电压。

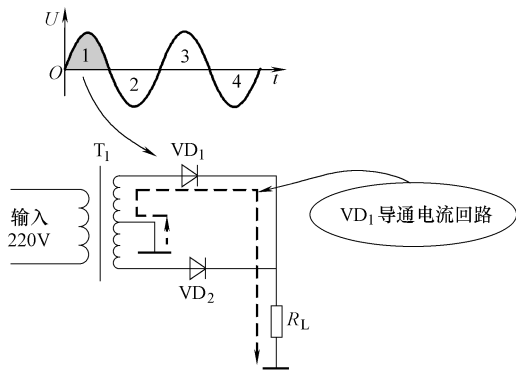


图 10-37  $VD_1$  导通电流回路示意图



### 电路分析提示

在绕组上端输出正半周交流电压的同时，下端输出的负半周交流电压加到整流二极管  $VD_2$  正极，这一负半周交流电压给  $VD_2$  反向偏置电压，不能使  $VD_2$  导通，这时  $VD_2$  处于截止状态。

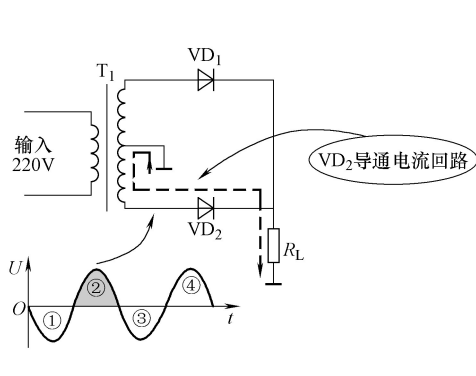
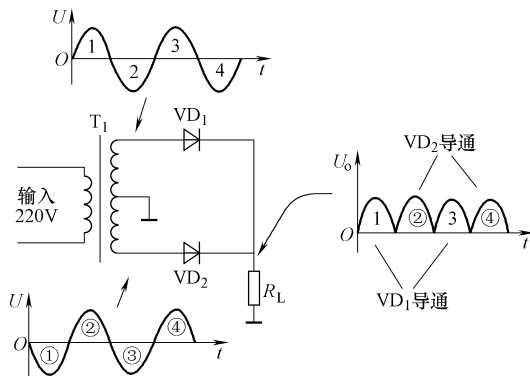
2) 另半周分析。在  $T_1$  二次绕组输出的交流电压变化到另一个半周时，二次绕组上端输出的负半周交流电压加到  $VD_1$  正极，给  $VD_1$  加反向偏置电压，使  $VD_1$  截止。



此时,二次绕组下端输出正半周交流电压“②”,这一电压给  $VD_2$  正向偏置电压而使之导通,图 10-38 所示是  $VD_2$  导通电流回路示意图, $VD_2$  导通后的电流回路是:二次绕组下端→整流二极管  $VD_2$  正极→ $VD_2$  负极→负载电阻  $R_L$ →地线→二次绕组抽头→二次绕组抽头以下绕组构成回路。

从图中可以看出,流过整流电路负载电阻  $R_L$  的电流仍然是从上而下,所以也是输出正极性的单向脉动直流电压。

图 10-39 所示是这一正极性全波整流电路输出电压  $U_o$  波形示意图,从这一图中可以看出, $VD_1$  和  $VD_2$  导通后的信号电压波形均为正半周,正极性全波整流电路相当于将交流输入电压的负半周翻到了正半周。

图 10-38  $VD_2$  导通电流回路示意图图 10-39 正极性全波整流电路输出电压  $U_o$  波形示意图

3) 整流二极管  $VD_1$  作用分析。 $VD_1$  用来整流,它只让电源变压器  $T_1$  二次绕组上端的正半周电压通过,将负半周电压消除。

4) 整流二极管  $VD_2$  作用分析。 $VD_2$  用来整流,它只让电源变压器  $T_1$  二次绕组下端的正半周电压通过,将负半周电压消除。

5) 电源变压器  $T_1$  作用分析。 $T_1$  将 220V 交流电压降压,同时二次绕组带中心抽头,这样抽头以上绕组和抽头以下绕组分别得到两个大小相等、相位相反的交流电压。



#### 电路特征提示

在全波整流电路中,电源变压器二次绕组必须有抽头,且为中心抽头,以此电路特征可以判断是不是全波整流电路。

### 2. 负极性全波整流电路

图 10-40 所示是负极性全波整流电路。电路中, $VD_1$  和  $VD_2$  是两只整流二极管,它们的负极与电源变压器  $T_1$  的二次绕组相连,这一点与正极性的全波整流电路不同(主要不同点)。 $T_1$  是电源变压器,与正极性全波整流电路中的电源变压器一样, $R_L$  是这一全波整流电路的负载。

1) 半周分析。当电源变压器  $T_1$  二次绕组上端输出正半周交流电压时, $VD_1$  截止。同时二次绕组下端输出大小相等的负半周交流电压,使  $VD_2$  导通,图 10-41 所示是  $VD_2$  导通电流回路示意图, $VD_2$  导通后的电流回路是:地线→负载电阻  $R_L$ →整流二极管  $VD_2$  正极→ $VD_2$  负极→二次绕组下端→二次抽头以下绕组→二次绕组抽头构成回路。

由于流过负载电阻  $R_L$  的电流是从下而上的,所以这是负极性的单向脉动性直流电压。

2) 另半周分析。在  $T_1$  二次绕组输出的交流电压变化到另一个半周时,二次绕组上端输出的负半周交流电压加到  $VD_1$  负极,给  $VD_1$  正向偏置电压, $VD_1$  导通,图 10-42 所示是  $VD_1$  导通电流回路示意图, $VD_1$  导通后的电流回路是:地线→负载电阻  $R_L$ →整流二极管  $VD_1$  正极→ $VD_1$  负极→二次绕组上端→二次抽头以上绕组→二次绕组抽头构成回路。这时,因为  $T_1$  二次绕组下端为正半周,所以  $VD_2$  截止。

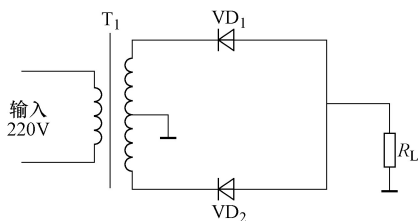


图 10-40 负极性全波整流电路

由于流过负载电阻  $R_L$  的电流也是从下而上的，所以这也是负极性的单向脉动直流电压。

图 10-43 所示是这一负极性全波整流电路输出电压  $U_o$  波形示意图，从这一图中可以看出， $VD_1$  和  $VD_2$  导通后的信号电压波形均为负半周，负极性全波整流电路相当于将交流输入电压的正半周翻到了负半周。

### ★10.2.3 图解桥式整流电路

图 10-44 所示是正极性桥式整流电路， $VD_1 \sim VD_4$  是四只整流二极管， $T_1$  是电源变压器，这是一种十分常见的整流电路。

对桥式整流电路的分析与全波整流电路基本一样，将交流输入电压分成正、负半周两种情况进

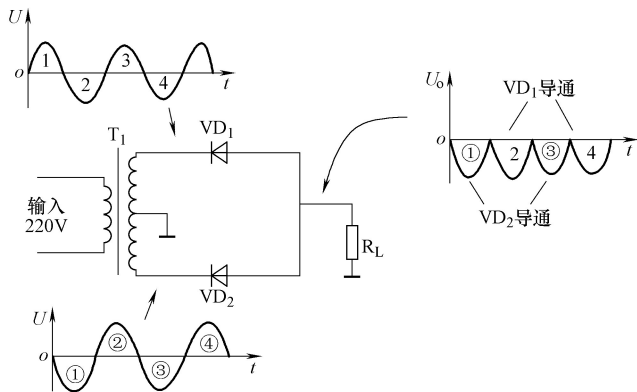


图 10-43 负极性全波整流电路输出电压  $U_o$  波形示意图

行分析。电源变压器  $T_1$  二次绕组上端和下端输出的交流电压相位是反相的，上端为正半周时下端为负半周，上端为负半周时下端为正半周。图 10-45 所示是二次绕组交流输出电压波形。

#### 1. 正半周期间电路分析

$T_1$  二次绕组上端的正半周电压“1”同时加在整流二极管  $VD_1$  的负极和  $VD_2$  的正极，给  $VD_1$  反向

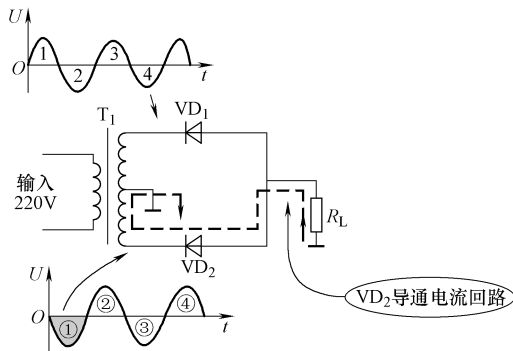


图 10-41  $VD_2$  导通电流回路示意图

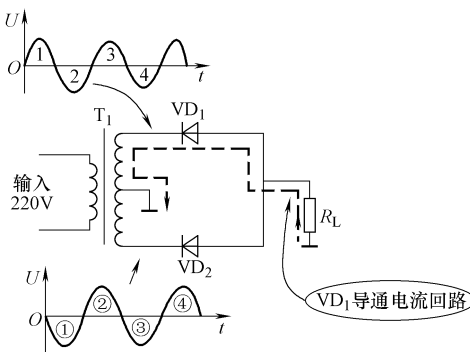


图 10-42  $VD_1$  导通电流回路示意图

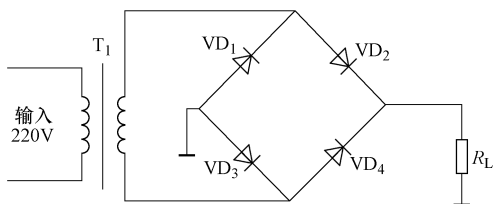


图 10-44 正极性桥式整流电路

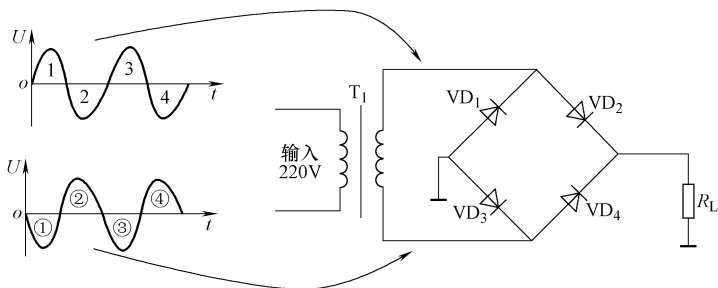


图 10-45 二次绕组交流输出电压波形示意图

偏置电压而使之截止，给  $VD_2$  加正向偏置电压而使之导通。与此同时， $T_1$  二次绕组下端的负半周电压“①”同时加到  $VD_3$  的负极和  $VD_4$  正极，这一电压对  $VD_4$  是反向偏置电压而使之截止，对  $VD_3$  是正向偏置电压而使之导通。如图 10-46 所示是正半周期期间整流二极管导通示意图。

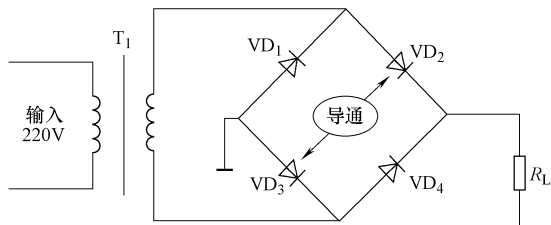


图 10-46 正半周期期间整流二极管导通示意图

图 10-47 所示是  $VD_2$ 、 $VD_3$  导通电流回路示意图， $VD_2$  和  $VD_3$  的导通电流回路是： $T_1$  二次绕组上端→ $VD_2$  正极→ $VD_2$  负极→负载电阻  $R_L$ →地端→ $VD_3$  正极→ $VD_3$  负极→ $T_1$  二次绕组下端→通过二次绕组回到绕组的上端。

流过整流电路负载电阻  $R_L$  的电流方向为从上而下，所以在  $R_L$  上的电压为正极性。

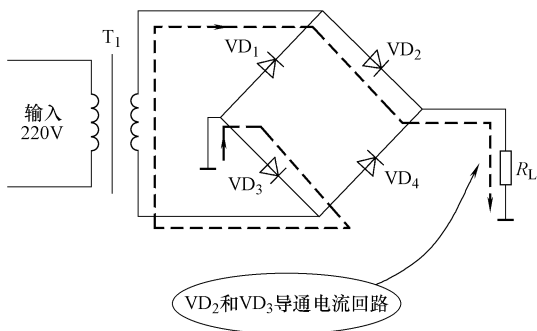
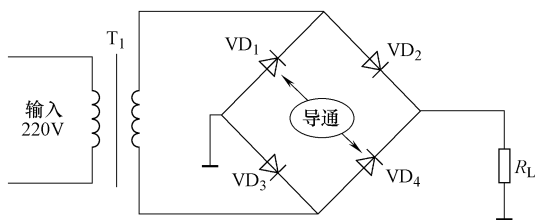
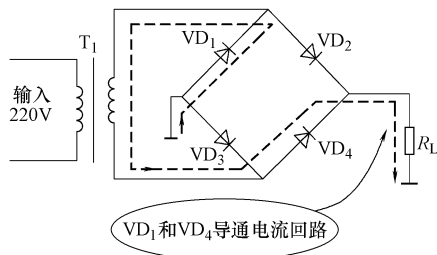
图 10-47  $VD_2$ 、 $VD_3$  导通电流回路示意图

图 10-48 负半周期期间整流二极管导通示意图

## 2. 负半周期期间电路分析

当  $T_1$  二次绕组两端的输出电压变化到另一个半周时，即二次绕组上端为负半周电压“2”，下端为正半周电压“②”。二次绕组上端的负半周电压加到  $VD_2$  正极，对  $VD_2$  是反向偏置电压而使之截止，这一电压加到  $VD_1$  负极，对  $VD_1$  是正向偏置电压而使之导通。与此同时， $T_1$  二次绕组下端的正半周电压“②”同时加到  $VD_3$  的负极和  $VD_4$  正极，这一电压对  $VD_3$  是反向偏置电压而使之截止，对  $VD_4$  是正向偏置电压而使之导通。图 10-48 所示是负半周期期间整流二极管导通示意图。

图 10-49 所示是  $VD_1$ 、 $VD_4$  导通电流回路示意图， $VD_1$  和  $VD_4$  的导通电流回路是： $T_1$  二次绕组下端→ $VD_4$

图 10-49  $VD_1$ 、 $VD_4$  导通电流回路示意图

正极→VD<sub>4</sub> 负极→负载电阻  $R_L$ →地端→VD<sub>1</sub> 正极→VD<sub>1</sub> 负极→T<sub>1</sub> 二次绕组上端→通过二次绕组回到绕组的下端。

流过整流电路负载电阻  $R_L$  的电流方向仍为从上而下，所以在  $R_L$  上的电压为正极性。

图 10-50 所示是这一正极性桥式整流电路输出电压  $U_o$  波形示意图，从这一图中可以看出，这一电路作用同正极性全波整流电路一样，也是将交流电压的负半周到正半周来。

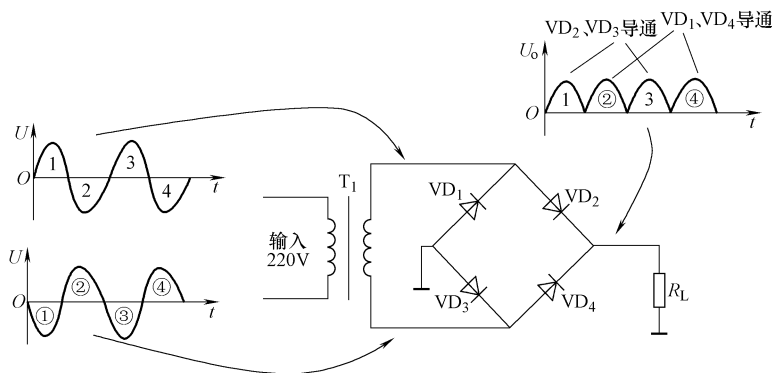


图 10-50 正极性桥式整流电路输出电压  $U_o$  波形示意图

## 10.3 图解滤波电路

本节阅读建议：精细阅读，深入理解电容滤波电路的核心，全面掌握各种类型的滤波电路工作原理。本节所需要的基础知识主要是电容器的隔直通交特性等。

本节难度系数：7 级。在掌握电容器的隔直通交特性后阅读难度大大下降。

本节记忆系数：7 级。在理解基础上的记忆比较轻松。

电源滤波电路中主要使用大电容量的电容器。

### ★10.3.1 图解典型电容滤波电路



#### 电路分析提示

在电源滤波电路中，主要运用电容器隔直通交特性，使用一只大电容量电解电容器，滤除整流电路输出电压中的交流成分，输出直流电压。

图 10-51 所示是典型的整流电路后面第一级电容滤波电路，这是电容滤波原理示意图。电路中， $C_1$  是滤波电容，它接在整流电路的输出端与地线之间，整流电路输出的单向脉动直流电压加到电容  $C_1$  上。 $R_L$  是整流、滤波电路的负载电阻，这一负载电阻在实际电路中是滤波电路的负载电路，即是一个具体电路而不是一个电阻器。

图 10-52 所示是不加滤波电路时整流电路输出的单向脉动的直流电压波形，从图中可以看出，它是一连串一个方向的半周正弦波。

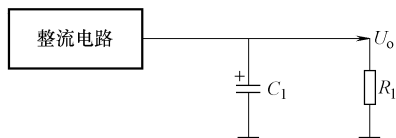


图 10-51 典型的电容滤波电路

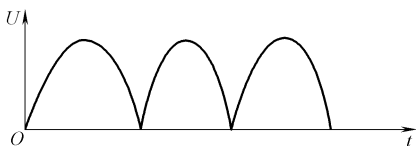


图 10-52 不加滤波电路时整流电路输出的单向脉动直流电压波形

## 重要提示

滤波电路紧接在整流电路之后，加了滤波电路之后的输出电压是直流电压  $U_o$ ，不再是整流电路输出的单向脉动直流电压。

## 1. 电容滤波电路

电容滤波的过程是：整流电路输出的单向脉动直流电压加到电容  $C_1$  上，在脉动直流电压从零增大过程中，这一电压开始对滤波电容  $C_1$  充电，如图 10-53 所示。这一充电使  $C_1$  上电压充至脉动直流电压的峰值。此时，电容  $C_1$  上的充电电压最大， $C_1$  中的电荷最多，电容具有储能特性，电容  $C_1$  保存了这些电荷。

图 10-54 所示是对滤波电容  $C_1$  充电电流回路示意图。

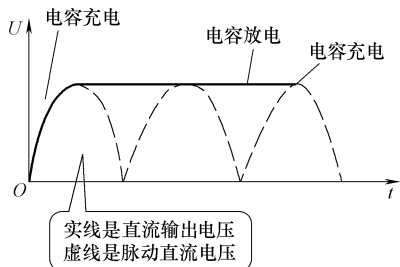


图 10-53 滤波电容器上充电和放电电压波形示意图

在上述电容充电期间，整流电路输出的电压一方面对电容  $C_1$  充电，另一方面与电容上所充的电压一起对负载电阻  $R_L$  供电。

在脉动直流电压从峰值下降时，整流电路输出的电压降低，此时电容  $C_1$  对负载电阻  $R_L$  放电。图 10-55 所示是  $C_1$  放电电流回路示意图。由于滤波电容  $C_1$  的电容量通常是很大的，存储了足够多的电荷，对负载电阻  $R_L$  的放电很缓慢，即  $C_1$  上的电压下降很缓慢。很快，整流电路输出的第二个半波电压到来，再次对电容  $C_1$  恢复充电，以补充  $C_1$  放掉的电荷。

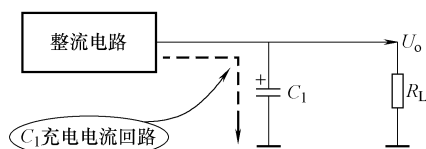


图 10-54 对滤波电容  $C_1$  充电电流回路示意图

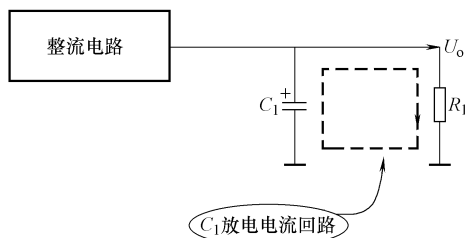


图 10-55  $C_1$  放电电流回路示意图

## 电路分析结论

整流电路输出的单向脉动直流电压不断变化，电容  $C_1$  不断充电、放电，这样负载电阻  $R_L$  上得到连续的直流工作电压，完成电容滤波任务。

## 2. 更为方便的等效理解和分析

对于电容滤波电路还有一种更为简单的等效分析方法，对理解电容滤波电路的工作原理相当方便。图 10-56 所示是整流电路输出波形及分解波形示意图，交流电压经整流电路之后输出的是单向脉动直流电压  $U_{o1}$ 。



图 10-56 整流电路的输出及分解波形示意图

根据波形分解原理可知,这一电压可以分解为一个直流电压和一组频率不同的交流电(图中画出一种主要频率的交流电流波形)。+ $U$  是单向脉动直流电压  $U_{o1}$  中的直流电压分量,交流分量是  $U_{o1}$  中的交流成分,滤波电路的作用是将直流电压 + $U$  取出,滤除交流成分。

由于电容  $C_1$  对直流电相当于开路,这样整流电路输出的单向脉动直流电压中的直流成分不能通过  $C_1$  到地,只有加到整流电路负载电阻  $R_L$  上。图 10-57 所示是直流电流回路示意图,它是流过负载  $R_L$  的电流。

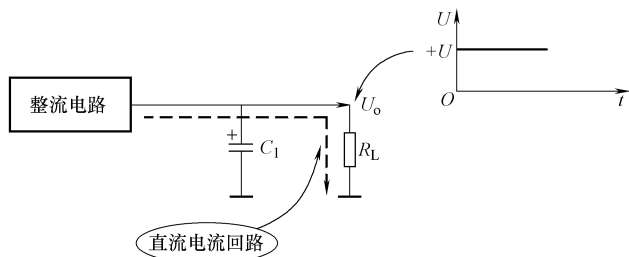


图 10-57 直流电流回路示意图,它是流过负载  $R_L$  的电流

对于整流电路输出的单向脉动直流电压中的交流成分,因为  $C_1$  的电容量较大,其容抗小,交流成分通过  $C_1$  流到地端,而不能加到整流电路的负载  $R_L$  上,图 10-58 所示是交流成分电流回路示意图。这样,通过电容  $C_1$  的滤波,从单向脉动直流电压中取出了所需要的直流电压 + $U$ ,达到滤波目的。

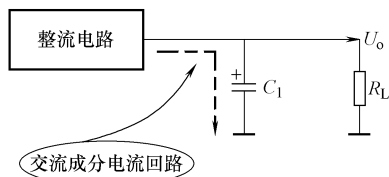


图 10-58 交流成分电流回路示意图



#### 电路分析提示

滤波电路中的滤波电容的电容量相当大,通常至少是  $470\mu\text{F}$  有极性电解电容。滤波电容  $C_1$  的电容量越大,对交流成分的容抗越小,使残留在整流电路负载  $R_L$  上的交流成分越小,滤波效果就越好。

### 3. 电源滤波电路中高频滤波电容电路

图 10-59 所示是电源滤波电路中的高频滤波电容电路。电路中,一个电容量很大的电解电容  $C_1$  ( $2200\mu\text{F}$ ) 与一个电容量很小的电容  $C_2$  ( $0.01\mu\text{F}$ ) 并联,  $C_2$  是高频滤波电容,用来进行高频成分的滤波,这种一大一小两个电容相并联的电路在电源电路中十分常见。

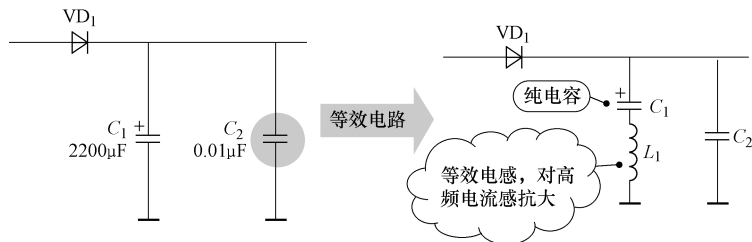


图 10-59 高频滤波电容电路



#### 重要提示

由于交流电网中存在大量的高频干扰,所以要求在电源电路中对高频干扰成分进行滤波。电源电路中的高频滤波电容就是起这一作用的。



1) 理论容抗与实际情况矛盾。从理论上讲,在同一频率下,电容大的电容其容抗小,图中这样一大一小两电容相并联,其电容小的电容  $C_2$  似乎不起什么作用。但是,由于工艺等原因,大电容容量电容器  $C_1$  存在感抗特性,在高频情况下,它的阻抗为容抗与感抗的串联,因为频率高,所以感抗大,限制了它对高频干扰的滤除作用。

2) 高频滤波电容。为了补偿大电容  $C_1$  在高频情况下的这一不足,再并联一个小电容  $C_2$ 。小电容的电容小,制造时可以克服电感特性,所以小电容  $C_2$  几乎不存在电感。电路的工作频率高时,小电容  $C_2$  的容抗已经很小,这样,高频干扰成分通过小电容  $C_2$  滤波到地。

3) 大电容的工作状态。整流电路输出的单向脉动直流电中绝大部分是频率比较低的交流成分,小电容对低频交流成分的容抗大而相当于开路,因而,对低频成分主要是大电容  $C_1$  在工作,所以流过  $C_1$  的是低频交流成分,图 10-60 所示是低频成分电流回路示意图。

4) 小电容的工作状态。对于高频成分而言,频率比较高,大电容  $C_1$  因为感抗特性而处于开路状态,小电容  $C_2$  容抗远小于  $C_1$  的阻抗,处于工作状态,它滤除各种高频干扰,所以流过  $C_2$  的是高频成分。图 10-61 所示是高频成分电流回路示意图。

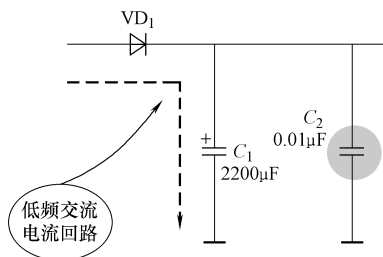


图 10-60 低频成分电流回路示意图

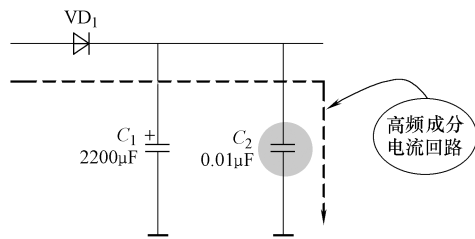


图 10-61 高频成分电流回路示意图

#### 4. 电源电路中电容保护电路

##### 重要提示

电源电路中,从滤波角度上讲,滤波电容的电容容量越大越好,但是,第一节滤波电容的电容容量太大对整流电路中的整流二极管是一种危害。

图 10-62 所示是开机时大电流流过  $VD_1$  回路示意图,电路中的  $VD_1$  是整流二极管,  $C_1$  是滤波电容。在整机电路通电之前,滤波电容  $C_1$  上没有电荷,所以  $C_1$  两端的电压为 0V。

在整机电路刚通电的瞬间,整流二极管在交流输入电压的作用下导通,对滤波电容  $C_1$  开始充电,由于原先  $C_1$  两端的电压为 0,这相当于将整流二极管  $VD_1$  负极对地短路,因此,这一瞬间流过整流二极管  $VD_1$  的电流,也即对滤波电容  $C_1$  的充电电流非常大。

不仅如此,由于  $C_1$  的电容容量很大,  $C_1$  的充电电压上升很慢,这意味着在比较长的时间内整流二极管中都有大电流流过,这会烧坏整流二极管  $VD_1$ 。第一节滤波电容  $C_1$  的电容容量越大,大电流流过  $VD_1$  的时间就越长,损坏整流二极管  $VD_1$  的可能性就越大。

为了解决大电容容量滤波电容与整流二极管长时间过电流之间的矛盾,可用两种方法:一是采用多节 RC 滤波电路(由电阻和电容构成的滤波电路),提高滤波效果,可以将第一节滤波电容的电容容量适当减小;二是加接整流二极管保护电容。

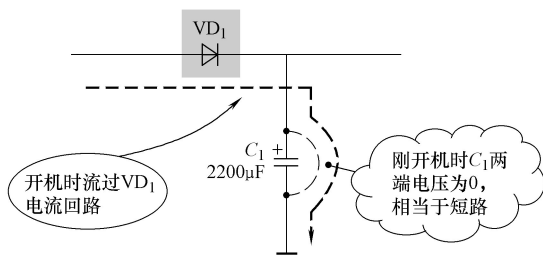


图 10-62 大电容容量滤波电容危害整流二极管示意图

如图 10-63 所示是保护电容电路, 电路中小电容  $C_1$  只有  $0.01\mu\text{F}$ ,  $C_1$  保护整流二极管  $\text{VD}_1$ 。

这一电路保护原理是: 在电源开关 (电路中未画出) 接通时, 由于电容  $C_1$  内部原先没有电荷,  $C_1$  两根引脚之间电压为  $0\text{V}$ ,  $C_1$  相当于短路, 这样, 开机瞬间的最大电流 (冲击电流) 通过  $C_1$  对滤波电容  $C_2$  充电, 图 10-64 所示是开机时冲击电流回路示意图。这样, 开机时最大的冲击电

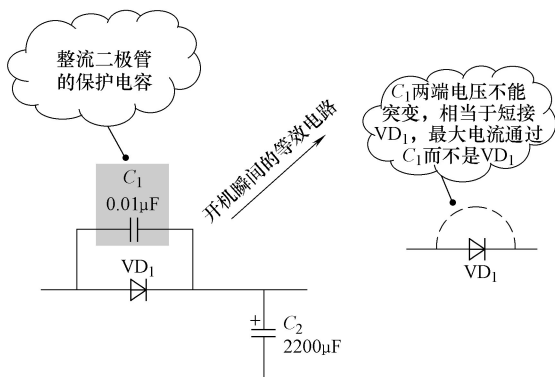


图 10-63 保护电容电路

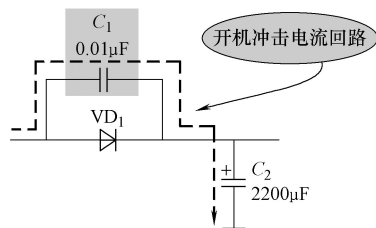


图 10-64 开机冲击电流回路示意图

流没有流过整流二极管  $\text{VD}_1$ , 从而达到了保护  $\text{VD}_1$  的目的。开机之后,  $C_1$  内部很快充到了足够的电荷, 这时  $C_1$  相当于开路, 由  $\text{VD}_1$  对交流电压进行整流。

如果交流电网中存在高频干扰, 这一干扰成分通过  $\text{VD}_1$  的整流而窜入整流电路输出电压之中, 如图 10-65 所示。加入小电容  $C_1$  之后, 由于高频干扰的频率高,  $C_1$  对它的容抗很小, 高频干扰成分直接通过  $C_1$  (而不通过  $\text{VD}_1$  整流), 被滤波电路中的高频电容  $C_3$  滤掉, 这样, 消除了交流电网中的高频干扰, 达到净化直流输出电压的目的。

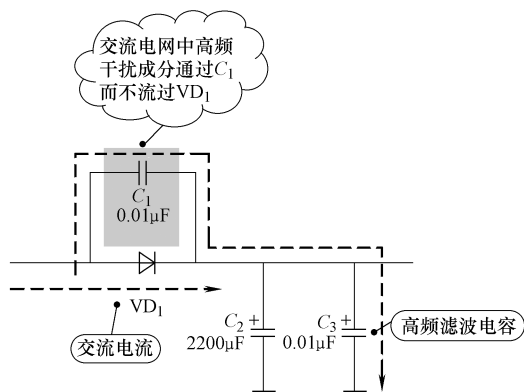


图 10-65 示意图

### ★10.3.2 图解 $\pi$ 型 $RC$ 滤波电路

#### 重要提示

$\pi$  型  $RC$  滤波电路是一种常用的滤波电路, 几乎所有的电源电路中都使用这种滤波电路, 它的成本低, 电路结构简单。它是一种复合型的滤波电路, 主要是由滤波电阻器和滤波电容器复合而成。

$\pi$  型  $RC$  滤波电路中, 前节的滤波电容的电容量较大, 后节的滤波电容的电容量较小。

如图 10-66 所示是  $\pi$  型  $RC$  滤波电路。电路中的  $C_1$ 、 $C_2$  是两只滤波电容,  $R_1$  是滤波电阻,  $C_1$ 、 $R_1$  和  $C_2$  构成一节  $\pi$  型  $RC$  滤波电路, 由于这种滤波电路的形式如同希腊字母  $\pi$  和采用了电阻、电容, 所以称为  $\pi$  型  $RC$  滤波电路。从电路中可以看出,  $\pi$  型  $RC$  滤波电路接在整流电路的输出端。

#### 1. 电路工作原理分析

这一电路的滤波原理是: 从整流电路输出的电压首先经过  $C_1$  的滤波, 将大部分的交流成分滤除。图 10-67 所示是流过电容  $C_1$  的交流电流示意图。

经过  $C_1$  滤波后的电压, 再加入到由  $R_1$  和  $C_2$  构成的滤波电路中, 电容  $C_2$  进一步对交流成分进行滤波, 有少量的交流电流通过  $C_2$  到达地线, 图 10-68 所示是流过电容  $C_2$  的残留交流电流回路示意图。

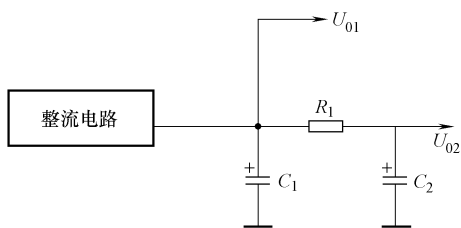
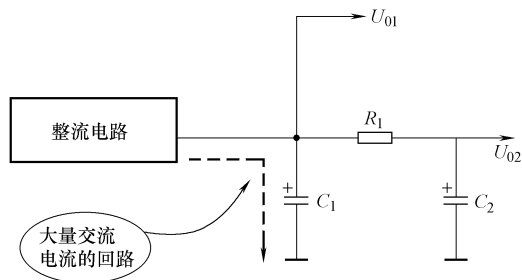
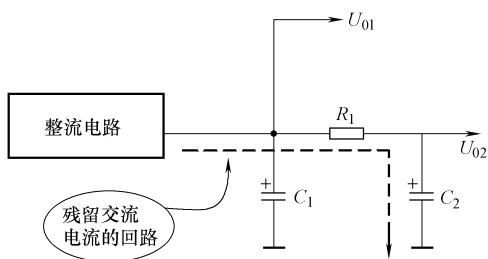
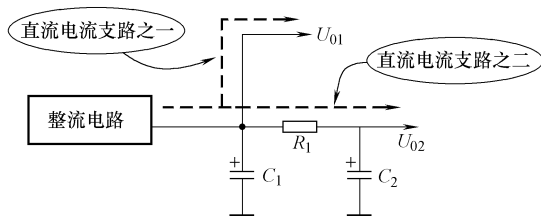
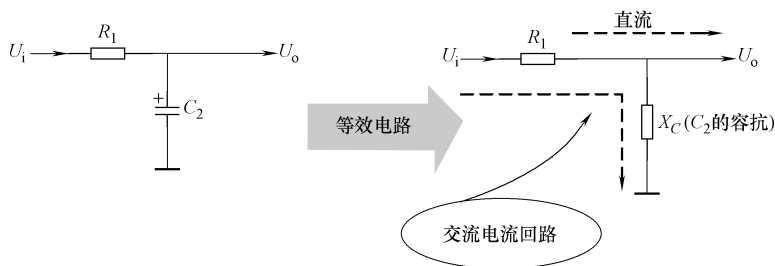
图 10-66  $\pi$  型  $RC$  滤波电路图 10-67 流过电容  $C_1$  的交流电流回路示意图图 10-68 流过电容  $C_2$  的残留交流电流回路示意图

图 10-69 直流电流回路示意图

## 2. 等效理解方法说明

理解  $R_1$  和  $C_2$  滤波电路工作原理可以这样：将电容  $C_2$  的容抗  $X_C$  与电阻  $R_1$  构成一个分压电路，图 10-70 所示是其等效电路。

图 10-70  $R_1$ 、 $C_2$  等效电路

对于直流电而言，由于电容  $C_2$  具有隔直作用，直流电流不能流过电容  $C_2$ ，直流电流只能流过电阻  $R_1$ ，如图中直流电流所示，所以， $R_1$  和  $C_2$  分压电路对直流电压不存在分压衰减的作用，这样直流电压通过  $R_1$  输出。

对于交流电流而言，因为  $C_2$  的电容量很大，容抗很小，所以  $R_1$ 、 $C_2$  构成的分压电路对交流成分的分压衰减量很大，达到滤波目的。

### 电路分析结论提示

多节  $RC$  滤波电路中，最后一节的直流输出电压最低而且交流成分最少，这一电压一般供给前节电路作为直流工作电压，因为前节电路的直流工作电压比较低，而且要求直流工作电压中的交流成分少。

## 10.4 图解三端稳压集成电路

所谓三端稳压集成电路就是只有三根引脚的具有直流稳压功能的集成电路，使用非常方便，电路结构也很简单，在许多电源电路中应用。

本节阅读建议：仔细阅读，全面掌握三端稳压集成电路。本节所需要的基础知识主要是集成电路基础知识。

本节难度系数：4 级。

本节记忆系数：8 级。

### ★10.4.1 图解典型三端稳压集成电路

图 10-71 所示是三端稳压集成电路典型应用电路，其外电路非常简单。三端稳压集成电路接在整流滤波电路之后，输入集成电路  $A_1$  的是未稳定的直流电压，输出的是经过稳定的直流电压。

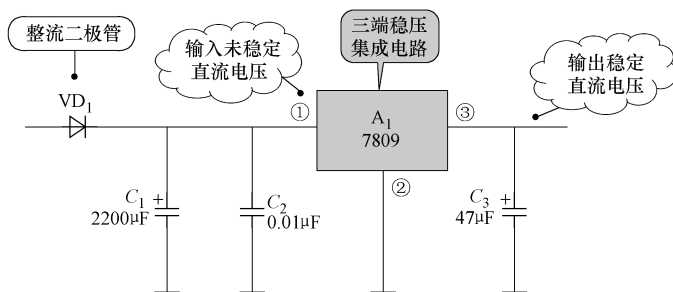


图 10-71 三端稳压集成电路典型应用电路

#### 1. 引脚外电路分析

① 脚是集成电路的直流电压输入引脚，从整流滤波电路输出的未稳定直流电压从这一引脚输入到  $A_1$  内电路中。

② 脚是接地引脚，在典型应用电路中接地，如果需要进行直流输出电压的调整时，这一引脚不直接接地。

③ 脚是稳定直流电压输出引脚，其输出的直流电压加到负载电路中。

图 10-72 所示是这一电路直流电流回路示意图，电路中  $R_L$  为三端稳压集成电路的负载。

#### 2. 元器件作用分析

$A_1$  是三端稳压集成电路，它只有三根引脚，图 10-73 所示是它的实物，它在电路中起直流稳压作用。

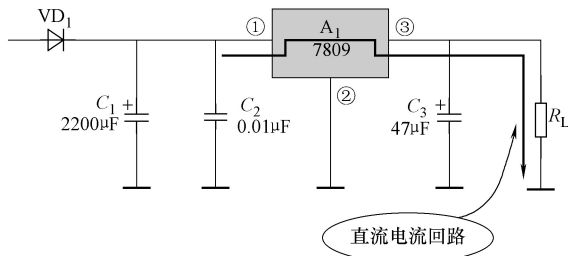


图 10-72 直流电流回路示意图



图 10-73 三端稳压集成电路实物

电路中的  $C_1$  为滤波电容, 其电容量比较大。

$C_2$  为高频滤波电容, 用来克服  $C_1$  的感抗特性。

$C_3$  是三端稳压集成电路输出端滤波电容, 一般电容量较小。

### ★10.4.2 图解三端稳压集成电路输出电压微调电路

典型的三端稳压集成电路②脚直接接地, 如果实用电路中所要求的输出电压不在 78 或 79 系列的输出电压值中, 可以通过改动电路来实现。

#### 1. 输出电压任意调节电路分析

图 10-74 所示是三端稳压集成电路输出电压大小任意调节电路。这一电路与典型应用电路不同之处是在②脚与地线之间接入一只可变电阻器  $RH_1$ 。

②脚流出电流流过  $RP_1$  存在电压降, 该电压降是这一电路输出电压的增大量。设  $A_1$  采用 7809, 那么③脚相对于②脚是 9V。而③脚相对于地线电压是 9V 加上  $RH_1$  上电压降。

调节  $RH_1$  的阻值, 可以改变  $RH_1$  的阻值大小, 从而可以调节  $RH_1$  上的电压降, 达到调整稳压电路输出电压大小的目的。当  $RH_1$  的阻值调到为 0 时, 就是典型的三端稳压电路; 当  $RH_1$  阻值增大时, 这一电路的输出电压增大。

#### 2. 串联二极管应用电路

图 10-75 所示是三端稳压集成电路  $A_1$  ②脚串联二极管电路。电路中的  $VD_1$  是二极管, 正极接  $A_1$  的②脚,  $VD_1$  在②脚输出电压作用下导通,  $VD_1$  上的压降为 0.7V, 所以这一稳压电路输出电压比典型电路高 0.7V。如果多串联几只二极管, 输出电压还会增大。

#### 3. 串联稳压二极管电路应用电路

图 10-76 所示是三端稳压集成电路  $A_1$  ②脚串联稳压二极管电路。 $VS_1$  是稳压二极管, 集成电路  $A_1$  ②脚输出电压使  $VS_1$  导通, 这样②脚对地之间的电压就是  $VS_1$  的稳压值, 所以这一稳压电路的输出电压大小就是在  $A_1$  输出电压值基础上加  $VS_1$  的稳压值。

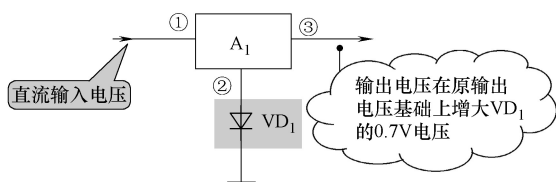


图 10-75 三端稳压集成电路  $A_1$  ②脚串联二极管电路

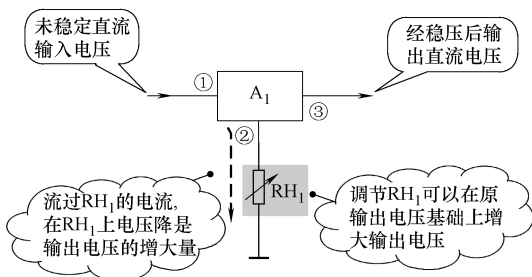


图 10-74 三端稳压集成电路输出电压大小任意调节电路

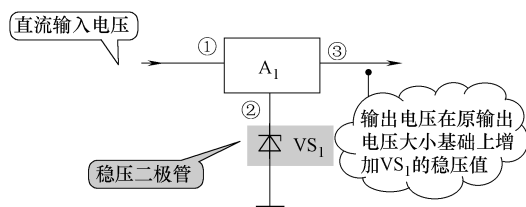


图 10-76 三端稳压集成电路  $A_1$  ②脚串联稳压二极管电路

### ★10.4.3 图解三端稳压集成电路增大输出电流电路

采用单只三端稳压集成电路不能满足输出电流要求时, 可以采用增大输出电流电路。

#### 1. 分流管电路

图 10-77 所示是三端稳压集成电路分流管电路。电路中的  $R_1$  和  $VT_1$  是在典型应用电路基础上另加的, 用来构成集成电路  $A_1$  的分流电路。

流过  $R_1$  电流在其两端产生电压降, 其极性为左正右负, 压降加到  $VT_1$  基极与发射极之间, 是正向偏置电压,  $VT_1$  导通, 一部分负载电流通过  $VT_1$  发射极、集电极供给负载。

$R_1$  阻值可以取  $1\Omega$ , 流过  $R_1$  电流比较大, 要求它的额定功率比较大, 否则会烧坏  $R_1$ 。

$VT_1$  是 PNP 型管, 为  $A_1$  分流, 称为分流管, 流过  $VT_1$  和  $A_1$  电流之和是负载电流。

## 2. 并联运用电路工作原理详解

图 10-78 所示是三端稳压集成电路并联运用电路。电路中的  $A_1$  和  $A_2$  是两块同型号三端稳压集成电路, 要求两块集成电路性能一致, 否则会在烧坏一块后继续烧坏另一块。

集成电路  $A_1$ 、 $A_2$  为负载平均分担工作电流, 如图 10-79 所示,  $A_1$  和  $A_2$  为负载电路提供相同的工作电压。

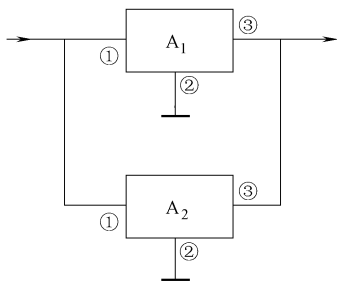


图 10-78 三端稳压集成电路  
并联运用电路

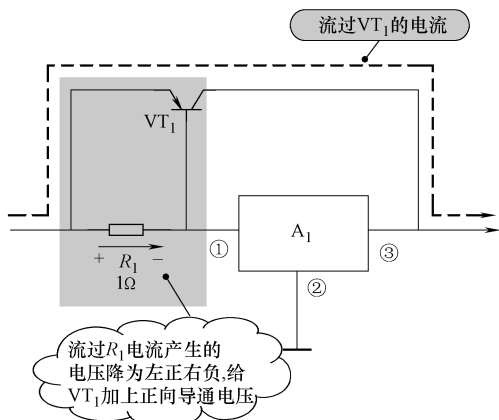


图 10-77 三端稳压集成电路分流管电路

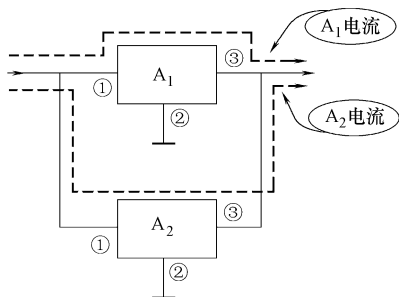


图 10-79  $A_1$  和  $A_2$  平均分担负载  
电流示意图

## 10.5

## 图解串联调整型稳压电路

本节阅读建议：细心阅读，全面掌握串联调整型稳压电路工作原理。本节所需要的基础知识主要是晶体管特性及晶体管电路、反馈电路等。

本节难度系数：7 级。如果在阅读本书第 11 章晶体管放大器后本节阅读难度将大幅下降。

本节记忆系数：8 级。

实用的直流稳压电路大量使用的是串联调整型稳压电路，这种稳压电路的稳压性能比较好。

### ★10.5.1 串联调整型稳压电路组成及各单元电路作用

图 10-80 所示是串联调整型稳压电路框图，从图中可以看出，它由调整管、比较放大器、基准电压电路和取样电路组成，有的稳压电路中还接入了各种保护电路等。稳压电路的输入电压是整流、滤波电路输出的是不稳定的直流电压，经过这一稳压电路稳定后的直流电压  $U_o$  是稳定的。

#### 1. 各单元电路作用

1) 基准电压电路作用。用来为比较放大器提供一个稳定的直流基准电压。



#### 重要提示

基准电压也是一个直流电压，而且是一个电压非常稳定的直流电压，在两个电压的比较中用它作为标准，所以称为基准电压。基准电路中的主要元器件是稳压二极管。



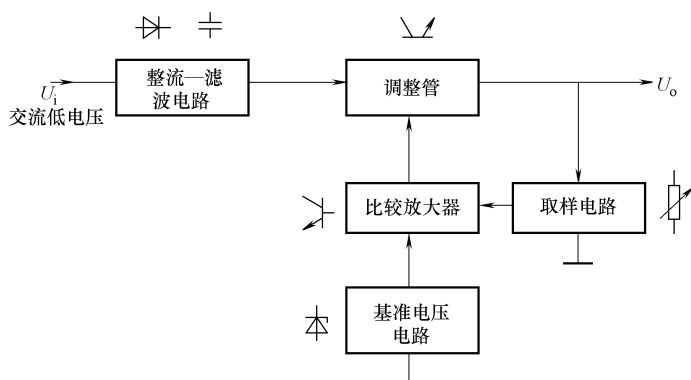


图 10-80 串联调整型稳压电路框图

2) 取样电路作用。这一电路的作用是将稳压电路输出的直流电压大小变化量取样出来，再将该取样电压送入比较放大器电路中。从取样电路中取出的直流电压变化量，反映了稳压电路直流输出电压大小波动的情况。

3) 比较放大器作用。这一电路的作用是对两个输入电压进行比较，并将比较的结果送到调整管电路中，对调整管进行控制。输入比较放大器的两个信号是取样电压和基准电压，这两个电压信号在比较放大器中进行比较，比较的结果有误差时，比较放大器放大输出这一误差电压，由这一误差电压去控制调整管的工作电流大小。

4) 调整管作用。调整管是一只晶体管，利用晶体管集电极与发射极之间内阻可改变特性，对稳压电路的直流输出电压进行大小调整。调整管的基极工作电流受比较放大器的误差输出电压控制，当比较放大器有误差电压输出时，调整管基极电流大小作相应的改变，进行稳压电路的直流输出电压自动调整，实现稳压。

由于调整管  $VT_1$  与稳压电路负载电阻  $R_L$  串联，所以称这种稳压电路为串联稳压电路。又因为直流输出电压的稳定是靠调整管  $VT_1$  集电极与发射极之间电压降自动调整实现的，所以称为串联调整型稳压电路。

### 重要提示

稳压电源所有的工作电流均流过调整管，所以调整管通常是一个大功率晶体管。

## 2. 直流稳压原理

图 10-81 所示是串联调整型稳压电路的稳压原理电路。电路中， $VT_1$  是调整管， $U_i$  是输入稳压电路的直流电压， $U_o$  是经过稳压电路稳压之后的直流工作， $R_L$  是稳压电路的负载（实际电路中  $R_L$  是整机电路）。

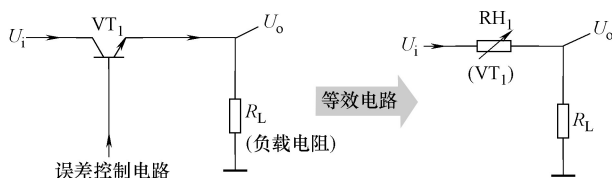


图 10-81 串联调整型稳压原理电路

直流输入电压  $U_i$  从  $VT_1$  管集电极输入，经过  $VT_1$  管集电极与发射极之间的内阻，从  $VT_1$  发射极输出，加到负载  $R_L$  上， $R_L$  上的直流电压为  $U_o$ 。

从电路中可以看出,调整管  $VT_1$  集电极与发射极之间的电压降加上  $R_L$  上的电压降 ( $U_o$ ) 等于直流输入电压  $U_i$ 。

1) 直流输出电压  $U_o$  增大时电路分析。由于某种因素使负载  $R_L$  两端的直流输出电压  $U_o$  增大时,  $VT_1$  管基极电流做出相应的减小变化,使  $VT_1$  管集电极与发射极之间管压降增大,这样直流输入电压  $U_i$  更多地降在  $VT_1$  管集电极与发射极之间,迫使负载  $R_L$  上的直流工作电压  $U_o$  下降,稳定稳压电路的直流输出电压  $U_o$ 。

2) 直流输出电压  $U_o$  减小时电路分析。由于某种因素使负载  $R_L$  两端的直流输出电压  $U_o$  减小时,  $VT_1$  管基极电流增大,使  $VT_1$  管集电极与发射极之间内阻减小,这样在  $VT_1$  管集电极与发射极之间的管压降低,使负载  $R_L$  上的直流工作电压  $U_o$  增大,稳定稳压电路的直流输出电压  $U_o$ 。



#### 等效理解方法提示

图 10-81 右图所示是稳压电路的等效电路,调整管  $VT_1$  相当于一只可变电阻器  $R_{H1}$ ,  $R_{H1}$  与负载  $R_L$  串联,流过  $R_{H1}$  的电流等于流过  $R_L$  的电流。当负载  $R_L$  两端的直流输出电压大小变化时,  $R_{H1}$  的阻值做相应的变化,使  $R_{H1}$  两端的直流电压降有相应的改变,迫使负载  $R_L$  两端的直流工作电压  $U_o$  稳定。

### ★10.5.2 图解典型串联调整型稳压电路

图 10-82 所示是典型串联调整型稳压电路。电路中,  $VT_1$  是调整管,它构成电压调整电路;  $VS_1$  是稳压二极管,它构成基准电压电路;  $VT_2$  是比较放大管,它构成电压比较放大器电路;  $RP_1$  和  $R_3$ 、 $R_4$  构成取样电路。

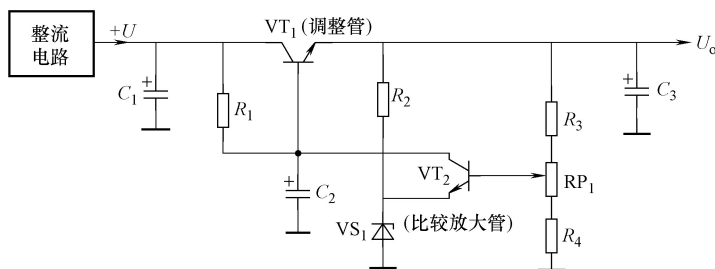


图 10-82 典型串联调整型稳压电路

#### 1. 直流电路分析

从整流和滤波电路输出的直流电压  $+U$  加到调整管  $VT_1$  集电极,同时经电阻  $R_1$  加到  $VT_1$  管基极和  $VT_2$  管集电极。

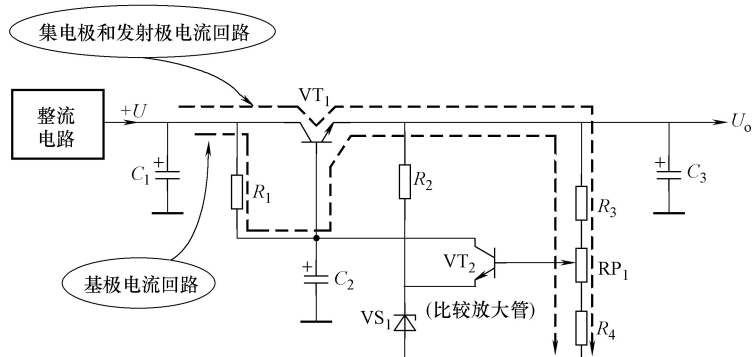
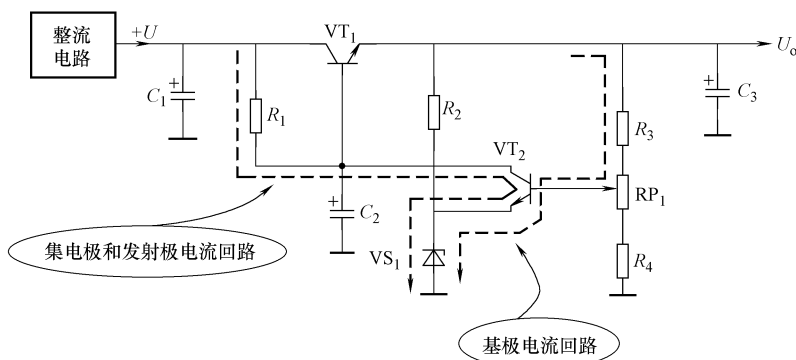
1)  $VT_1$  管直流电路工作原理是:直流工作电压  $+U$  直接加到调整管  $VT_1$  集电极,  $R_1$  为  $VT_1$  管提供一定的正向偏置电流,  $VT_1$  管发射极电流通过  $R_3$ 、 $RP_1$ 、 $R_4$  和稳压电路负载电路(图中未画出)成回路。

图 10-83 所示是  $VT_1$  管直流电流回路示意图,一路是  $VT_1$  管集电极和发射极直流电流回路,另一路是  $VT_1$  管基极直流电流回路示意图。

2)  $VT_2$  管直流电路是:直流工作电压  $+U$  经  $R_1$  加到比较放大管  $VT_2$  集电极。  $R_3$ 、 $RP_1$ 、 $R_4$  构成  $VT_2$  管基极分压式偏置电路,  $RP_1$  动片输出的直流电压加到  $VT_2$  管基极,为  $VT_2$  提供基极偏置电压。  $VT_2$  发射极电流通过导通的  $VD_1$  到地端。

如图 10-84 所示是  $VT_2$  管直流电流回路示意图,一路是  $VT_2$  管集电极和发射极直流电流回路,另一路是  $VT_2$  管基极直流电流回路示意图。

$VT_1$  管发射极输出的直流电压通过  $R_2$  加到  $VS_1$  上,使  $VS_1$  处于导通状态,  $R_2$  是稳压二极管

图 10-83  $VT_1$  管直流电流回路示意图图 10-84  $VT_2$  管直流电流回路示意图

$VS_1$  的限流保护电阻。



#### 电路分析提示

电路中  $R_3$ 、 $RP_1$ 、 $R_4$  构成分压电路， $RP_1$  动片输出电压为  $VT_2$  管基极提供正向偏置电压的同时，稳压电路直流输出电压  $U_o$  的大小波动变化量也通过  $R_3$ 、 $RP_1$ 、 $R_4$  取样电路，由  $RP_1$  动片加到  $VT_2$  管基极。

### 2. 稳压原理

设某种因素影响导致稳压电路的直流输出电压  $U_o$  在增大，通过取样电路  $R_3$ 、 $RP_1$ 、 $R_4$  使  $VT_2$  管基极电压增大，因为直流输出电压  $U_o$  增大时， $RP_1$  动片上的输出电压也增大，即  $VT_2$  管基极电压增大。

由于  $VT_2$  管发射极电压上直流电压取自稳压二极管上的电压，所以这一电压是稳定的，这一直流电压作为比较放大管  $VT_2$  基准电压。

因为加到  $VT_2$  基极上的取样电压使基极电压升高，所以  $VT_2$  管集电极电压下降（ $VT_2$  接成共发射放大器，它的集电极电压与基极电压相位相反），使  $VT_1$  管基极电压下降， $VT_1$  管发射极直流输出电压也下降（发射极电压跟随基极电压变化），即稳压电路直流输出电压下降。

由上述电路分析可知，当稳压电路直流输出电压增大时，通过电路的一系列调整，使稳压电路的直流输出电压  $U_o$  下降，达到稳定直流输出电压的目的。图 10-85 所示是输出端反馈信号加到调整管传输线路示意图。

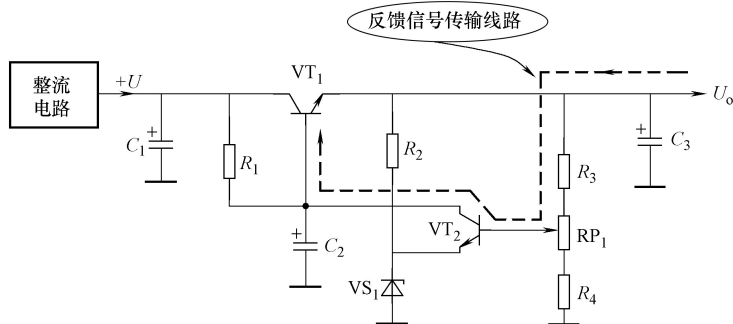


图 10-85 输出端反馈信号加到调整管传输线路示意图



#### 电路分析提示

由于某种因素使稳压电路的直流输出电压  $U_o$  而下降时， $VT_2$  管基极电压下降， $VT_2$  管集电极电压在升高， $VT_2$  管基极电压升高，使  $VT_2$  管发射极电压降升高，使稳压电路的直流输出电压  $U_o$  升高，达到稳定输出电压  $U_o$  的目的。

### 3. 直流输出电压调整电路

串联调整型稳压电路输出的直流工作电压  $U_o$  大小是可以进行连续微调的，即在一定范围内对直流输出电压大小进行调整。

1)  $RP_1$  动片向上端调整电路分析。这时  $RP_1$  动片输出的直流电压升高，使  $VT_2$  管基极电压升高， $VT_2$  管集电极电压下降， $VT_1$  管基极电压降低， $VT_1$  管发射极电压下降，使稳压电路的直流输出电压  $U_o$  减小。由此可知，将  $RP_1$  动片向下调整时，可以降低直流输出电压  $U_o$ 。注意，虽然直流输出电压下降，但是  $U_o$  仍然是稳定的。

2)  $RP_1$  的动片向下端调整电路分析。这时  $RP_1$  动片输出的直流电压下降，使  $VT_2$  管基极电压下降，通过电路的一系列调整，直流输出电压  $U_o$  增大。



#### 元器件作用提示

电路中的电容  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_3$  是滤波电容，其中电容  $C_2$  与调整管  $VT_1$  构成了电子滤波器电路。

## 10.6

## 图解直流电压供给电路

本节阅读建议：重点阅读，全面掌握直流电压供给电路工作原理。本节所需要的基础知识主要是串联电路等。

本节难度系数：4 级。

本节记忆系数：8 级。

电子电路使用直流工作电压，采用电池可直接供电，采用交流电源供电时则要通过电源电路转换成直流电源。



#### 重要提示

电路工作原理的分析重点之一是直流电路分析，电路故障检修中的重点是检查直流电压供给电路，通过测量直流电压供给电路有关测试点的直流电压大小情况，判断电路故障部位，所以掌握直流电压供给电路工作原理的意义重大。

### ★10.6.1 图解直流电压供给电路

了解下列几点直流电压供给电路作用，对分析这一电路工作原理有益：

- 1) 直流电压供给电路是一级一级的  $RC$  电路串接起来的电路，具有降低直流工作电压的特点，越是串接电路的后级，其直流输出电压越低。
- 2) 直流电压供给电路对直流工作电压具有进一步滤波的作用。
- 3) 直流电压供给电路在多级放大器中还具有级间退耦的作用。

#### 1. 直流工作电压重要性

一个整机电路中，直流电压供给电路无处不在，只要存在有源器件就有直流电压供给电路，所以处处需要进行直流电压供给电路的分析。

电子电路的工作电压是直流电压，所以电路中只要存在有源器件（如晶体管、集成电路）的地方就存在直流电压供给电路。图 10-86 所示是集成电路的直流电压供给电路，直流电压是这些有源器件正常工作的保证，当直流工作电压大小或其他方面不正常时，必将影响整个电路的正常工作。

从整流滤波电路输出端之后的电路中都存在直流电压供给电路。这一直流电压通过串联、并联电路形式，为每一级放大器、每一个有源器件提供直流工作电压。

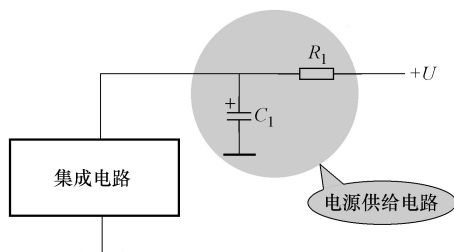


图 10-86 集成电路直流电压供给电路



#### 电路故障检修提示

电子电路的故障检修中，最为有效的方法是测量电路中关键测试点上的直流电压大小，根据这些测量的电压数据进行故障部位的逻辑判断。这是因为电路正常工作时，在电路的关键测试点上存在一个确定的直流电压值，当电路发生故障时，这些直流电压值将发生大小的改变，电路故障检修中就是抓住这些直流电压变异情况，进行正确的逻辑性电路故障分析。

#### 2. 整机直流电压供给电路

图 10-87 所示是直流电压供给电路示意图。电路中的  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  作用相同，都是直流电压供给电阻（退耦电阻）， $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_3$  都是滤波、退耦电容。

整机的直流电压供给电路有许多条，这些电路采用并联和串联的形式，有时这些并联、串联直流电压供给电路十分复杂。

整机电路中的直流工作电压等级（大小）有许多，如这一电路中的  $U_{o1} \sim U_{o4}$ 。越是靠近整流滤波电路输出端，直流电压越高，越向外电压越低，如  $U_{o1}$  低于  $U_{o3}$ 。

单独一路直流电压供给电路非常简单，主要是由电阻和电容构成，每一条直流电压供给电路的结构都是相同的。

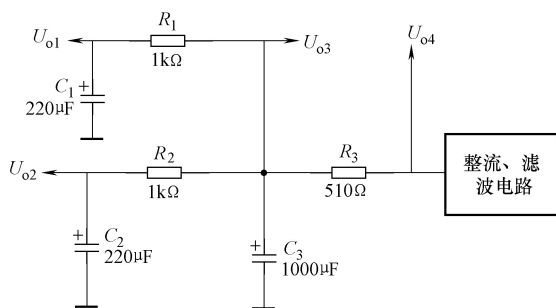


图 10-87 直流电压供给电路示意图



#### 电路分析提示

直流电压供给电路中的电阻比较小，电容比较大，见电路中的标称参数，这是直流电压供给电路特征，必须牢记。

如图 10-88 所示是各支路电流示意图。

### 3. 实用直流电压供给电路

直流电压供给电路中, 采用电阻串联或是并联的形式向整机各部分电路供电, 在部分直流电压供给电路中也会采用电感滤波电路, 如图 10-89 所示。

图 10-90 所示是这一电路的直流电流示意图。

滤波和退耦电容接在直流电压供给电路与地线之间, 绝不会串联在直流电压供给电路中的, 因为电容具有隔直的作用。

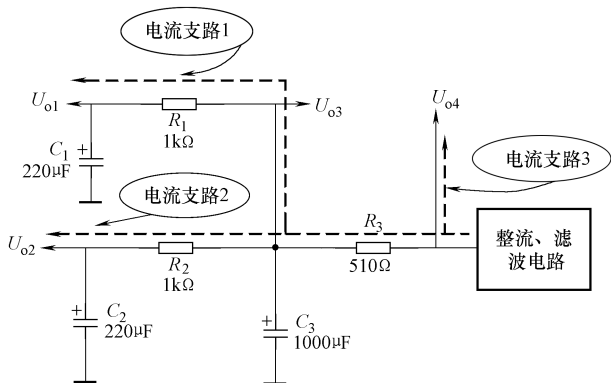


图 10-88 各支路电流示意图

#### 重要提示

直流电压供给电路按照直流电压的极性不同有两种：一是正极性的直流电压供给电路，二是负极性的直流电压供给电路。

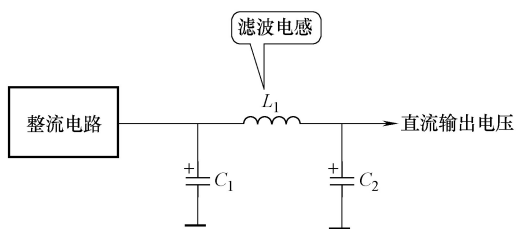


图 10-89 滤波电感直流电压供给电路

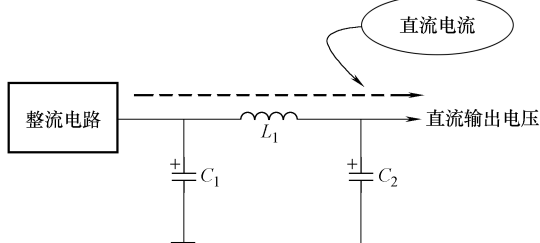


图 10-90 直流电流示意图

这两种直流电压供给电路的结构一样, 识别方法是: 如果滤波、退耦电容的负极接地, 则是正极性直流电压供给电路; 如果滤波、退耦电容的正极接地, 则是负极性直流电压供给电路。

### ★10.6.2 图解整机直流电压供给电路方法

#### 1. 整机电路找出整流电路输出端方法

检修或分析整机直流电压供给电路时, 第一步是在整机电路图中找出整流滤波电路的输出端, 因为这一端点是整机直流电压供给电路的起点。

图 10-91 所示是找出整流滤波电路输出端方法示意图。

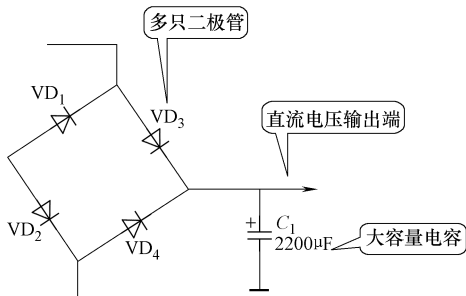


图 10-91 找出整流滤波电路输出端方法示意图

整机电路图中, 整流滤波电路一般画在右下方或左上方 (也有例外), 更为准确的方法是找出整机电路图中有许多二极管的地方, 这很可能就是整流电路。

#### 电路分析方法提示

根据滤波电容的容量在整机电路中容量最大 (通常大于  $1000\mu\text{F}$ )、体积最大的特点, 找出整机的滤波电容  $C_1$ , 它接在整流电路输出端与地线之间, 这样可以确定整流滤波电路的输出端。

#### 2. 确定直流电压供电极性方法

根据整机滤波电容接地引脚极性确定是什么极性的直流电压供给电路, 如图 10-92 所示, 一般采用正极性直流电压供给电路。





### 3. 分析直流电压供给电路主要目的

分析直流电压供给电路主要目的是：查清楚直流电压是如何供给整机中各部分主要电路的。例如，如何供给功率放大器，如何供给集成电路的电源引脚，如何供给各晶体管的集电极和基极等，如图 10-93 所示。

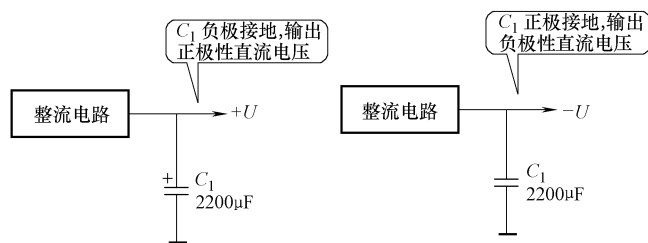


图 10-92 根据整机滤波电容接地引脚极性确定直流电压供电极性方法示意图

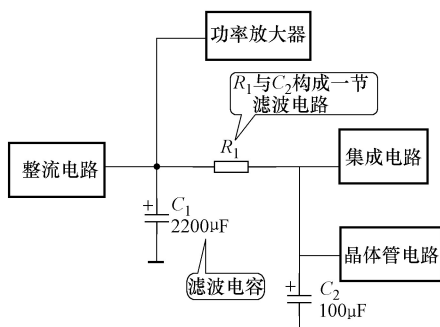


图 10-93 分析直流电压负载电路示意图



#### 模拟课堂



胡老师：

请大家讨论下有关电源电路的内容。



学生男：

没想到接地有这么多的知识点，接不好会影响到电路正常工作的诸多方面，我们一定要认真学好这方面的知识。



学生女：

屏蔽与接地也相关，且屏蔽也分为许多种情况，真是不学不知道，一学吓一跳。低频屏蔽和高频屏的接地还不同。



学生男：

现在使用量最大的电容滤波电路，但是 LC 滤波电路的效果很好，只是成本较高。实用电路中则用多节的滤波电路。



学生女：

老师，有学长讲电源电路的故障相对而言还比较好检修，是不是这样，为什么呢？



胡老师：

一般而言是有这样的情况，这是因为电源电路出现故障后它有一个比较明显的故障现象，即直流电压发生了改变，通过测量直流电压的大小情况，并追踪直流电压变化的路途，通常能够比较容易发现故障部位。



胡老师：

下面大家对电源开关电路进行一些讨论。



学生男：

电源开关电路工作原理还是比较简单的，主要是它的电路故障分析有点困难。



胡老师：

对，电路故障分析通常比较难，它需要有扎实的电路工作原理基础，只有在掌握了电路工作原理之后才能进行正确的电路故障分析。



学生女：

老师，为什么当电源开关接触电阻大时输出电压降低？



胡老师：

因为输入电压降在了开关的接触电阻上了，这时如果测量开关两端的电压会发现较大，严重时开关还会发热，甚至烧坏。



胡老师：

下面大家讨论过电流保护电路和抗干扰电路。



学生女：

老师，为什么有的熔丝管要用套管包起来，而有的则用支架固定而将熔丝管裸露在外面？



胡老师：

这个问题问得很好。凡电源变压器输入回路的熔丝管都是用套管包起来，因为这一回路中的交流电压是 220V，这是出于安全考虑。对于电源变压器二次绕组回路中的低压熔丝管，因为工作电压低而只是采用支架固定即可。



学生男：

电子电路中广泛使用熔断电阻器起过电流保护作用，它有许多优点，那为何还要用熔丝管呢？



胡老师：

这是因为熔断电阻器一旦熔断，更换起来没有熔丝管方便，所以对一些过电流故障比较容易发生的电路现在仍然采用熔丝管。



学生女：

老师，为什么有的电源电路设有各种抗干扰电路，而有的则没有呢？



胡老师：

一是根据电路工作需要来决定，二是根据电路成本来决定。有的电源电路的负载电路必须设置抗干扰电路，否则会影响电路的正常工作。



胡老师：

下面我们讨论整流电路的工作原理。



学生女：

老师，这些整流电路中哪种电路应用最为广泛？



胡老师：

正极性的桥式整流电路应用最多。



学生男：

老师，那是不是只要学习正极性的桥式整流电路就可以了，其他的整流电路就可以作一般性了解？



胡老师：

不妥，学习整流电路应该从半波整流电路入手，只有真正掌握了半波整流电路工作原理后，才能比较方便地理解桥式整流电路工作原理。另外，倍压整流电路在电源电路中应用虽然比较少，但在一些信号指示电路中有着广泛应用。



学生女：

正极性和负极性整流电路对电源变压器电路而言是不是一样的，只是整流二极管正负极接法不同。



胡老师：

说得很对。



学生男：

老师，对于正、负极性的整流电路中，是不是电路中有正电压，还有负电压？



胡老师：

对，正电压高于地线上的0V电压，负电压低于地线的0V电压，即为负电压。检修这种电源电路时，万用表直流电压挡能够测量到负电压。



学生女：

老师，当桥堆中一只二极管损坏后是不是要更换这只桥堆？



胡老师：

如果出现二极管开路故障，可以再并联一只二极管，如果是出现其他故障则要更换桥堆。



胡老师：

现在大家讨论一下电容滤波电路的问题，以加深印象。



学生女：

老师，为什么说电容并联电路中电容量大的电容是电路中的主要电容器？



胡老师：

这是因为电容器的电容量大，其容抗小，而在并联电路中容抗小的支路在整个并联电路中起主

要作用，这一支路中的电流大。



学生男：

老师，电解电容的容量通常都比较大吗？

(头像) 胡老师：

是的，当电子电路中需要容量比较大的电容器时，首先想到使用电解电容器。



学生女：

胡老师，为什么有性极电解电容在并联时要正极与正极相连，负极与负极相连呢？



胡老师：

有极性电解电容运用于含有直流电压的电子电路中，正常情况下，有极性电解电容的正极直流电压一定要高于负极上的直流电压。如果有极性电解电容正极与另一只电容的负极相连，那么在电容中必有一只电容的正极直流电压低于其负极的直流电压，这时这只有极性电解电容就会发生爆炸故障，这是相当危险的，大家在运用有极性电解电容时一定要注意。



学生男：

电容滤波电路的基本原理是运用了电容器的隔直通交特性，为什么滤波电容的容量大，滤波效果会好呢？



胡老师：

因为滤波电容的容量大，其容抗就小，交流分量更多地流到地线。



学生女：

老师，为什么  $RC\pi$  型滤波电路的滤波效果没有  $LC\pi$  型滤波电路好呢？



胡老师：

这是因为电感对交流电的感抗大，对交流分量的阻碍作用大。另外，电感器的直流电阻小，对直流电的压降小。



胡老师：

下面大家讨论一下稳压电路的问题。



学生男：

老师，稳压二极管典型应用电路比较简单，电路中的限流保护电阻是不是用来调节输入电压波动的？



胡老师：

对，当输入电压大小波动时，电路中的限流保护电阻两端的电压也相应地改变大小，当输入电压增大时，该电阻两端的电压降增大，反之则降低。



学生女：

老师，串联调整管稳压电路的难点在哪里呢？



胡老师：

在分析这一电路工作原理过程中，需要进行稳压过程的分析，这是难点所在，在具备了反馈电路分析能力后，这样的分析就没有困难了。



学生男：

老师，串联调整管稳压电路的变形电路比较多，有什么好方法应对这些变化吗？



胡老师：

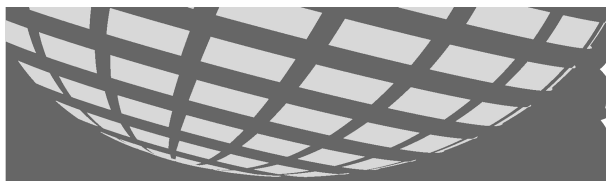
是的，串联调整管稳压电路的变化比较丰富，首先要真正掌握典型的串联调整管稳压电路工作原理，在此基础上分析各种变化电路，各种变化电路都是局部电路的变化，所以掌握典型电路很重要。

阅读完成时间：\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日，用时\_\_\_\_天。

签 名：\_\_\_\_\_

阅读体会：（请写 10 个收获最大的知识点关键词）

阅读困惑：（请写 10 个最难理解的知识点关键词）



# 第 11 章

## 图解直流偏置电路和放大器电路

阅读开始时间：\_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

本章计划阅读用时：\_\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！

### 11.1 图解晶体管直流偏置电路

本节阅读建议：重点阅读，全面深入掌握晶体管直流偏置电路工作原理。本节所需要的基础知识主要是电阻电路等。

本节难度系数：5 级。

本节记忆系数：9 级。

直流偏置电路是保证放大器件进入放大器的关键电路。

晶体管偏置电路主要有三大类，每大类中都有多种变化，这些电路的变化是电路分析中的难点和重点。

三大类电路是：

- 1) 固定式偏置电路。
- 2) 分压式偏置电路。
- 3) 集电极-基极负反馈式偏置电路。

#### ★11.1.1 图解晶体管固定式偏置电路

固定式偏置电路是晶体管偏置电路中最简单的一种电路。



##### 重要提示

固定式偏置电路的特征是：固定式偏置电阻的一根引脚必须与晶体管基极直接相连，另一根引脚与正电源端或地线端直接相连。

##### 1. 典型固定式偏置电路

图 11-1 所示是典型固定式偏置电路。电路中的  $VT_1$  是 NPN 型晶体管，采用正极性电源  $+U$  供电。

1) 固定式偏置电阻。在直流工作电压  $+U$  和电阻  $R_1$  的阻值大小确定后，流入晶体管的基极电流就是确定的，所以  $R_1$  称为固定式偏置电阻。

2) 基极电流回路。从图 11-2 所示电路中可以看出，直流工作电压  $+U$  产生的直流电流通过  $R_1$  流入晶体管  $VT_1$  内部，其基极电流回路是：直流工作电压  $+U \rightarrow$  固定式偏置电阻  $R_1 \rightarrow$  晶体管  $VT_1$  基极  $\rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow$  地线。



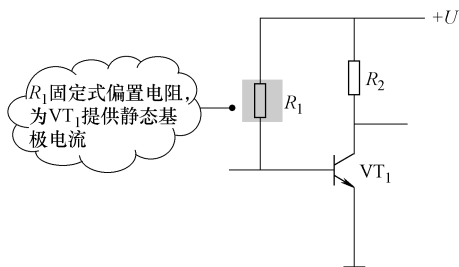


图 11-1 经典的固定式偏置电路

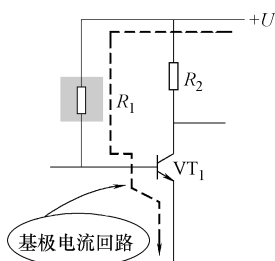


图 11-2 基极电流回路示意图

3) 基极电流大小分析。 $I_B = (U - 0.6V)/R_1$ , 式中的  $0.6V$  是  $VT_1$  发射结压降。



#### 重要提示

无论是采用正极性直流电源还是负极性直流电源, 无论是 NPN 型晶体管还是 PNP 型晶体管, 晶体管固定式偏置电阻只有一个。

### 2. 负极性电源供电 NPN 型晶体管固定式偏置电路

图 11-3 所示是采用负极性电源供电的 NPN 型晶体管固定式偏置电路。电路中的  $VT_1$  是 NPN 型晶体管,  $-U$  是负极性直流电源,  $R_1$  是基极偏置电阻,  $R_1$  构成  $VT_1$  的固定式基极偏置电路,  $R_1$  可以为  $VT_1$  提供基极电流。基极电流从地线 (也就是电源的正极端) 经电阻  $R_1$  流入晶体管  $VT_1$  基极。



#### 重要提示

对于采用负电源供电的 NPN 型晶体管固定式偏置电路而言, 偏置电阻  $R_1$  的电路特征是: 它的一端与晶体管基极相连, 另一端与地线相连, 根据电阻  $R_1$  的这一电路特征, 可以方便地在电路中确定哪个电阻是固定式偏置电阻。

在负极性电源供电电路中, 电路地线的直流电压最高, 而  $VT_1$  发射极接负电源  $-U$  端, 这样  $VT_1$  基极电压高于发射极电压, 给  $VT_1$  发射结提供正向偏置电压。

### 3. 正极性电源供电 PNP 型晶体管固定式偏置电路

图 11-4 所示是采用正极性电源供电的 PNP 型晶体管固定式偏置电路。电路中的  $VT_1$  是 PNP 型晶体管,  $+U$  是正极性直流电源,  $R_1$  是基极偏置电阻,  $R_1$  构成  $VT_1$  的固定式基极偏置电路,  $R_1$  可以为  $VT_1$  提供基极电流。基极电流是从正电源  $+U$  端流入发射极, 从基极流出再经电阻  $R_1$  到达地线。

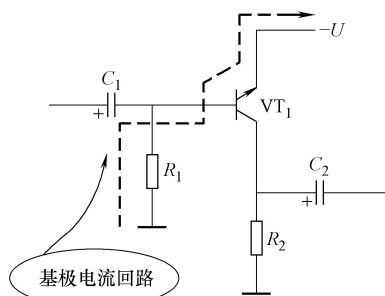


图 11-3 采用负电源供电的 NPN 型晶体管固定式偏置电路

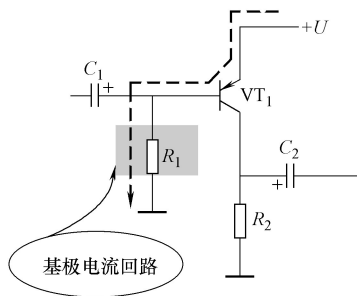


图 11-4 正极性电源供电的 PNP 型晶体管固定式偏置电路



重要提示

对于采用正电源供电的 PNP 型晶体管固定式偏置电路而言，偏置电阻  $R_1$  的电路特征是：它的一端与晶体管基极相连，另一端与地线相连，根据电阻  $R_1$  的这一电路特征，可以方便地在电路中确定哪个电阻是固定式偏置电阻。

地线在这一电路中的直流电压最低，而  $VT_1$  发射极接正电源  $+U$  端，这样  $VT_1$  发射极电压高于基极电压，给  $VT_1$  发射结提供正向偏置电压。

#### 4. 负极性电源供电的 PNP 型晶体管固定式偏置电路

图 11-5 所示是采用负极性电源供电的 PNP 型晶体管固定式偏置电路。电路中的  $VT_1$  是 PNP 型晶体管， $-U$  是负极性直流电源， $R_1$  是基极偏置电阻， $R_1$  构成  $VT_1$  的固定式基极偏置电路， $R_1$  可以为  $VT_1$  提供基极电流。基极电流是从地线流入发射极，从基极流出再经电阻  $R_1$  到达负电源  $-U$  端。



重要提示

对于采用负电源供电的 PNP 型晶体管固定式偏置电路而言，偏置电阻  $R_1$  的电路特征是：它的一端与晶体管基极相连，另一端与负电源  $-U$  相连，根据电阻  $R_1$  的这一电路特征，可以方便地在电路中确定哪个电阻是固定式偏置电阻。

地线在这一电路中的直流电压最高，而  $VT_1$  发射极是接地线，这样  $VT_1$  发射极电压高于基极电压，给  $VT_1$  发射结提供正向偏置电压。

### ★11.1.2 图解晶体管分压式偏置电路

分压式偏置电路是晶体管另一种常见的偏置电路。这种偏置电路的形式固定，所以识别方法相当简单。

#### 1. 晶体管典型分压式偏置电路

图 11-6 所示是典型的分压式偏置电路。电路中的  $VT_1$  是 NPN 型晶体管，采用正极性直流电压  $+U$  供电。由于  $R_1$  和  $R_2$  这一分压电路为  $VT_1$  基极提供直流电压，所以将这一电路称为分压式偏置电路。

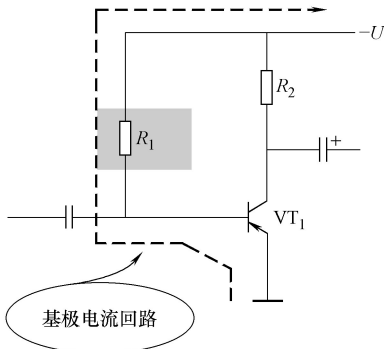


图 11-5 负极性电源供电的 PNP 型晶体管固定式偏置电路

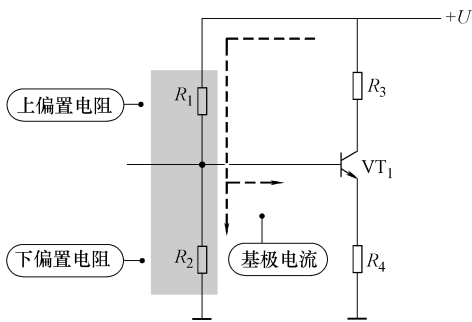


图 11-6 典型分压式偏置电路

电阻  $R_1$  和  $R_2$  构成直流工作电压  $+U$  的分压电路，分压电压加到  $VT_1$  基极，建立  $VT_1$  基极直流偏置电压。电路中  $VT_1$  发射极通过电阻  $R_4$  接地，基极电压高于地端电压，所以基极电压高于发射极电压，发射结处于正向偏置状态。

流过  $R_1$  的电流分成两路：一路流入基极作为晶体管  $VT_1$  的基极电流，其基极电流回路是：+

$U \rightarrow R_1 \rightarrow VT_1$  基极  $\rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow$  电阻  $R_4 \rightarrow$  地端；另一路通过电阻  $R_2$  流到地线。

1) 上偏置电阻和下偏置电阻。分压式偏置电路中,  $R_1$  称为上偏置电阻,  $R_2$  称为下偏置电阻, 虽然基极电流通过上偏置电阻  $R_1$  构成回路, 但是  $R_1$  和  $R_2$  分压后的电压决定了  $VT_1$  基极电压的大小, 在晶体管发射极电阻  $R_4$  阻值大小确定的情况下, 也就决定了基极电流的大小, 所以  $R_1$  和  $R_2$  同时决定  $VT_1$  基极电流的大小。

2) 分析基极电流大小的关键点。分析分压式偏置电路中晶体管基极电流的大小时要掌握:  $R_1$  和  $R_2$  对直流工作电压  $+U$  分压后, 加到晶体管基极, 该直流电压的大小决定了该管基极电压高低, 基极直流电压高基极电流大, 反之则小。



#### 电路分析提示

无论是 NPN 型还是 PNP 型晶体管, 无论是采用正电源还是负电源供电, 一般情况下, 偏置电路用两个电阻构成, 这一点对识别分压式偏置电路十分方便。

### 2. 正极性电源供电 PNP 型晶体管分压式偏置电路

图 11-7 所示是采用正极性电源供电的 PNP 型晶体管分压式偏置电路。电路中的  $VT_1$  是 PNP 型晶体管,  $+U$  是正极性直流工作电压,  $R_1$  和  $R_2$  构成分压式偏置电路,  $R_3$  是晶体管  $VT_1$  的发射极电阻,  $R_4$  是晶体管  $VT_1$  的集电极负载电阻。

在采用正电源供电的 PNP 型晶体管电路中, 往往习惯于将晶体管的发射极画在上面, 如图中所示那样。

1) 直流电路分析。电阻  $R_1$  和  $R_2$  构成对直流电压  $+U$  的分压电路, 分压后的电压直接加到  $VT_1$  基极, 给基极一个直流偏置电压。

$VT_1$  发射极通过电阻  $R_3$  接在正极性直流工作电压  $+U$  端, 晶体管  $VT_1$  的发射极直流电压最高, 高于晶体管  $VT_1$  的基极直流电压, 所以晶体管  $VT_1$  发射结 (基极与发射极之间的 PN 结) 处于正向偏置状态, 满足晶体管  $VT_1$  工作在放大状态所必须具备的条件之一。

2) 直流电流回路分析。图 11-8 所示是直流电流回路示意图, 流出直流电源  $+U$  的直流电流共有三条回路。

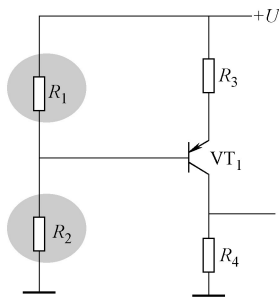


图 11-7 正极性电源供电的 PNP 型晶体管分压式偏置电路

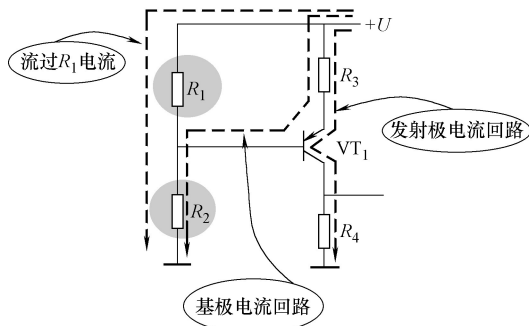


图 11-8 直流电流回路示意图

电阻  $R_2$  构成了基极电流回路, 这一电流回路是:  $+U \rightarrow R_3 \rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow VT_1$  基极  $\rightarrow R_2 \rightarrow$  地端。



#### 重要提示

采用正电源供电的 PNP 型晶体管分压式偏置电路其特征与采用正电源供电的 NPN 型晶体管分压式偏置电路的特征一样。

### 3. 负性电源供电 NPN 型晶体管分压式偏置电路

图 11-9 所示是负性电源供电 NPN 型晶体管分压式偏置电路。电路中的  $VT_1$  是 NPN 型晶体管， $-U$  是负性直流工作电压， $R_1$  和  $R_2$  构成分压式偏置电路， $R_3$  是晶体管  $VT_1$  的发射极电阻， $R_4$  是晶体管  $VT_1$  的集电极负载电阻。

分压式偏置电路的电路特征同前面电路一样， $R_1$  和  $R_2$  构成对直流工作电压  $-U$  的分压电路，分压后的电压加到晶体管  $VT_1$  基极，这一电路特征与正性直流电压供电电路一样，所以电路分析中很容易确定是分压式偏置电路。

图 11-10 所示是电路中直流电流回路示意图，有三条直流电流回路，NPN 型晶体管的基极电流流向管内。

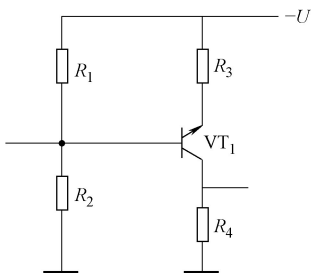


图 11-9 负性电源供电的 NPN 型晶体管分压式偏置电路

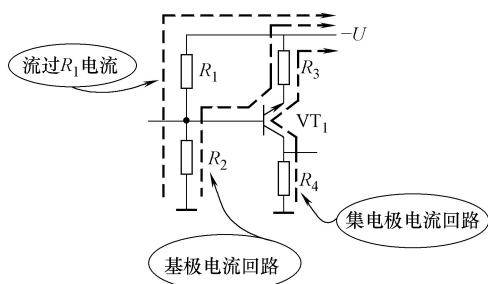


图 11-10 直流电流回路示意图

#### 重要提示

电路分析中要注意：由于采用负性直流电源供电，所以电路中的地线直流电压为最高， $-U$  端的直流电压最低，这样所有的电流都是从地线端（实际上地线端是负性直流电源的正极）流出，流到  $-U$  端（这是负性直流电源的负极）。

### 4. 采用负性电源供电 PNP 型晶体管分压式偏置电路

图 11-11 所示是负性电源供电的 PNP 型晶体管分压式偏置电路。电路中的  $VT_1$  是 PNP 型晶体管， $-U$  是负性直流工作电压， $R_1$  和  $R_2$  构成分压式偏置电路， $R_3$  是晶体管  $VT_1$  的集电极负载电阻， $R_4$  是晶体管  $VT_1$  的发射极电阻。

图 11-12 所示是直流电流回路示意图，PNP 型晶体管的基极电流是从管内流出的。

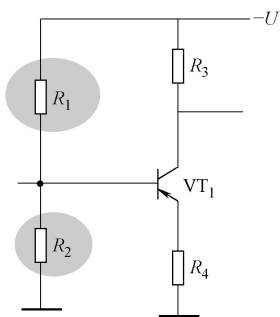


图 11-11 负性电源供电的 PNP 型晶体管分压式偏置电路

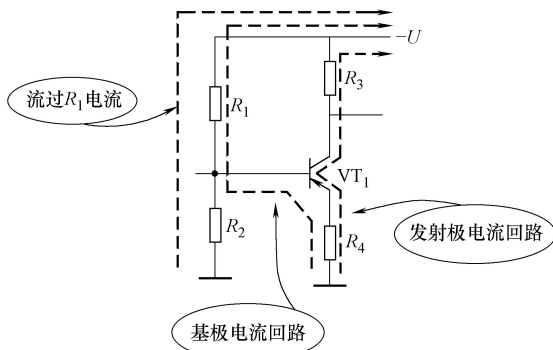


图 11-12 直流电流回路示意图

### 重要提示

各种分压式偏置电路的电路特征基本一样,所以分压式电路在各种极性电源、各种极性晶体管电路中的电路特征是相同的,这对识别电路中的分压偏置电路是方便的,比固定式偏置电路更为容易。

在分压式偏置电路中,两只分压电阻中有一只构成了基极电流回路,电路分析要分清这只电阻,因为当这只电阻开路时基极电流回路开路,这时无基极电流。图 11-13 所示是几种分压式偏置电路中构成基极电流回路的分压电阻示意图。

### 5. 方便基极电流调整的可变电阻器分压式偏置电路

分压式偏置电路有一些变形电路,变形电路主要有两种:它们都属于分压式偏置电路的范畴,只是电路的具体形式发生了变化,在电路分析中,同功能不同电路形式的电路(变形电路)是电路分析的一个难点,有的电路其变形电路“丰富多彩”。下面讲解三种晶体管分压式偏置电路变形电路工作原理。

图 11-14 所示是方便基极电流调整的可变电阻器分压式偏置电路。电路中的  $R_{H1}$  是可变电阻器, $R_1$ 、 $R_{H1}$  和  $R_2$  构成晶体管  $VT_1$  的分压式偏置电路。

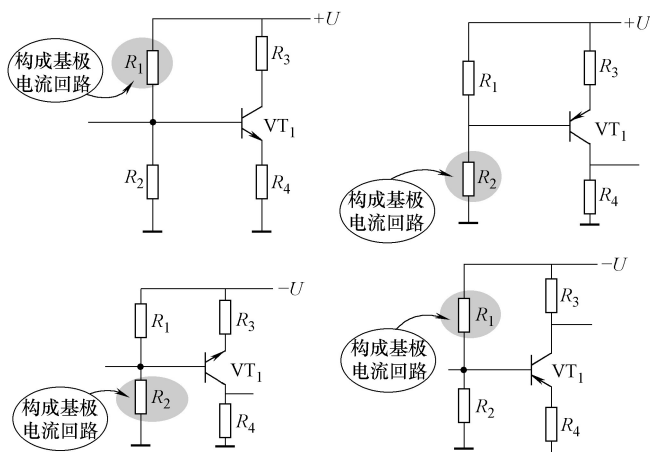


图 11-13 构成基极电流回路的分压电阻示意图

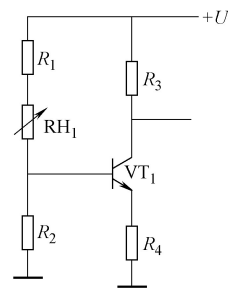


图 11-14 方便基极电流调整的可变电阻器分压式偏置电路

$R_1$  和  $R_{H1}$  串联后作为上偏置电阻,由于  $R_{H1}$  的阻值可以进行微调,所以这一电路中上偏置电阻器的阻值可以方便地调整。

串联可变电阻器  $R_{H1}$  的目的是进行上偏置电阻的阻值调整,其目的是进行晶体管  $VT_1$  的基极直流偏置电流的调整,从而可以调整晶体管  $VT_1$  的静态工作状态。

### 重要提示

在调整  $R_{H1}$  的阻值时,实际上是改变了分压电路的分压比,即改变了晶体管  $VT_1$  基极上的直流偏置电压,从而可以改变晶体管  $VT_1$  的静态电流。

改变晶体管的静态工作电流,可以改变晶体管的动态工作情况,有时可以在一定范围内调整晶体管  $VT_1$  这一级放大器的放大倍数等,例如一些收音机电路中的第一级放大器就采用这种变形分压式偏置电路。

### 6. 提高放大器输入阻抗的分压式偏置电路

图 11-15 所示是一种为了提高放大器输入阻抗的分压式偏置电路。电路中的  $R_1$  和  $R_2$  构成分压

式偏置电路，其分压后的电压不是直接加到晶体管  $VT_1$  基极，而是通过电阻  $R_3$  加到  $VT_1$  基极。

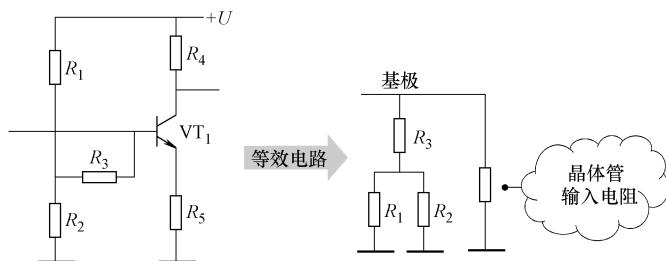


图 11-15 提高放大器输入阻抗的分压式偏置电路

从等效电路中可以看出，由于加入了电阻  $R_3$ ，电阻  $R_1$  和  $R_2$  并联后与  $R_3$  串联（串联电阻电路总电阻的阻值增大），然后再与晶体管  $VT_1$  的输入阻抗并联，这样提高了这一级放大器的输入阻抗。所以，这种变形的分压式偏置电路中，电阻  $R_3$  是为了提高放大器输入阻抗而设置的。

图 11-16 所示是这一电路中的基极偏置电流回路示意图，基极电流经过了电阻  $R_1$  和  $R_3$ 。

## 7. 具有温度补偿特性的分压式偏置电路

图 11-17 所示是具有温度补偿特性的分压式偏置电路。电路中的  $R_1$  和  $R_2$ 、 $VD_1$  构成  $VT_1$  基极分压式偏置电路。 $R_1$  是上偏置电阻， $R_2$  是下偏置电阻， $VD_1$  串联在下偏置电阻  $R_2$  电路中。

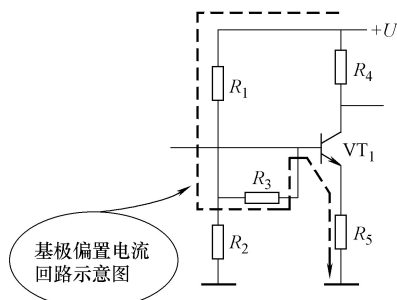


图 11-16 基极偏置电流回路示意图

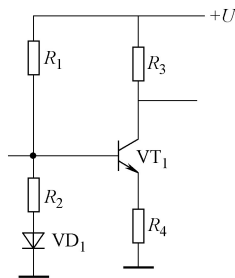


图 11-17 具有温度补偿特性的分压式偏置电路

$R_1$ 、 $R_2$ 、 $VD_1$  分压后的电压加到  $VT_1$  基极上，作为  $VT_1$  基极直流偏置电压。二极管  $VD_1$  处于导通状态。

当工作温度升高时， $VT_1$  基极电流会增大一些，这说明  $VT_1$  受温度的影响而工作不能稳定。加入  $VD_1$  后，温度升高时， $VD_1$  正、负极之间的管压降略有下降，这使  $VT_1$  基极电压略有下降，使  $VT_1$  基极电流略有下降，这一基极电流下降正好抵消由于温度升高引起的  $VT_1$  基极电流的增大，所以  $VD_1$  能对  $VT_1$  进行温度补偿。

当温度下降时， $VT_1$  基极电流略有下降，而  $VD_1$  管压降略有上升，使  $VT_1$  基极电压略有上升， $VT_1$  基极电流略有增大，也能稳定  $VT_1$  基极电流。

## 重要提示

普通二极管在导通后，它的管压降（正极与负极之间的电压）基本不变，但不是绝对不变。当二极管的工作温度变化时，它的管压降会发生微小的变化。当工作温度升高时，它的管压降会下降一些；当工作温度降低时，它的管压降会增大一些。这是二极管管压降受温度影响的特性。





### ★11.1.3 图解集电极-基极负反馈式晶体管偏置电路

集电极-基极负反馈式偏置电路是晶体管偏置电路中用得最多的一种偏置电路，它只用一只偏置电阻构成偏置电路。

#### 1. 典型晶体管集电极-基极负反馈式偏置电路

图 11-18 所示是典型的晶体管集电极-基极负反馈式偏置电路。电路中的  $VT_1$  是 NPN 型晶体管，采用正极性直流电源  $+U$  供电， $R_1$  是集电极-基极负反馈式偏置电阻。

电阻  $R_1$  接在  $VT_1$  集电极与基极之间，这是偏置电阻， $R_1$  为  $VT_1$  提供了基极电流回路，其基极电流回路（见图 11-19）是：直流工作电压  $+U$  端  $\rightarrow R_2 \rightarrow VT_1$  集电极  $\rightarrow R_1 \rightarrow VT_1$  基极  $\rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow$  地端，这一回路中有电源  $+U$ ，所以能有基极电流。

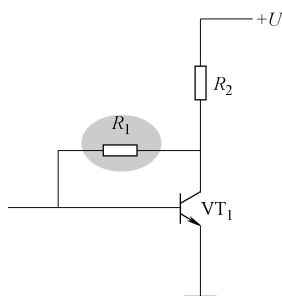


图 11-18 正电源供电 NPN 型晶体管集电极-基极负反馈式偏置电路

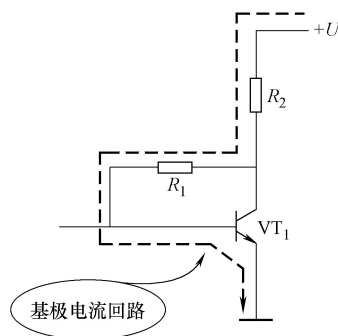


图 11-19 基极电流回路示意图

由于  $R_1$  接在集电极与基极之间，并且  $R_1$  具有负反馈的作用，所以称为集电极-基极负反馈式偏置电路。



#### 重要提示

集电极-基极负反馈式偏置电路的特征是：偏置电阻接在晶体管集电极与基极之间，根据这一电路特征比较容易从众多元件中找出偏置电阻。这一偏置电路中的偏置电阻其阻值比较大，通常要在  $100k\Omega$  左右。

#### 2. NPN 型负极性电源供电的集电极-基极负反馈式偏置电路

图 11-20 所示是 NPN 型负极性电源供电的集电极-基极负反馈式偏置电路。电路中的  $R_1$  是集电极-基极负反馈偏置电阻，它接在晶体管  $VT_1$  集电极与基极之间。 $R_2$  是  $VT_1$  集电极负载电阻。

基极电流回路（见图 11-21）是：地端  $\rightarrow R_2 \rightarrow VT_1$  集电极  $\rightarrow R_1 \rightarrow VT_1$  基极  $\rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow -U$  端。

#### 3. PNP 型正极性电源供电的集电极-基极负反馈式偏置电路

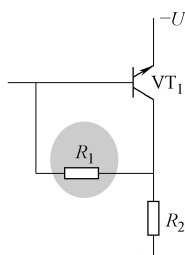


图 11-20 NPN 型负极性电源供电的集电极-基极负反馈式偏置电路

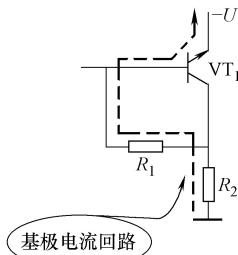


图 11-21 基极电流回路示意图

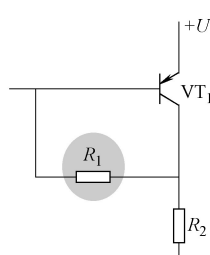


图 11-22 PNP 型正极性电源供电的集电极-基极负反馈式偏置电路

图 11-22 所示是 PNP 型正极性电源供电的集电极-基极负反馈式偏置电路。电路中的  $R_1$  是集电极-基极负反馈偏置电阻，它接在晶体管  $VT_1$  集电极与基极之间。 $R_2$  是  $VT_1$  集电极负载电阻。

基极电流回路（见图 11-23）是： $+U$  端 $\rightarrow VT_1$  发射极 $\rightarrow VT_1$  基极 $\rightarrow R_1 \rightarrow VT_1$  集电极 $\rightarrow R_2 \rightarrow$  地端。

#### 4. PNP 型负极性电源供电的集电极-基极负反馈式偏置电路

图 11-24 所示是 PNP 型负极性电源供电的集电极-基极负反馈式偏置电路。电路中的  $R_1$  是集电极-基极负反馈偏置电阻，它接在晶体管  $VT_1$  集电极与基极之间。 $R_2$  是  $VT_1$  集电极负载电阻。

基极电流回路（见图 11-25）是：地端 $\rightarrow VT_1$  发射极 $\rightarrow VT_1$  基极 $\rightarrow R_1 \rightarrow VT_1$  集电极 $\rightarrow$ 集电极负载电阻  $R_2 \rightarrow -U$  端。

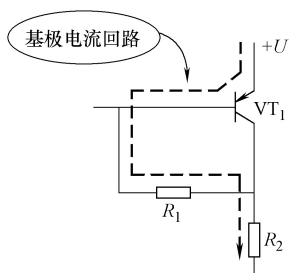


图 11-23 基极电流回路示意图

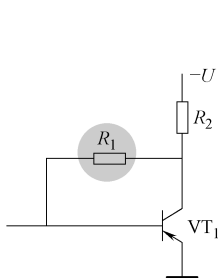


图 11-24 PNP 型负极性电源供电的集电极-基极负反馈式偏置电路

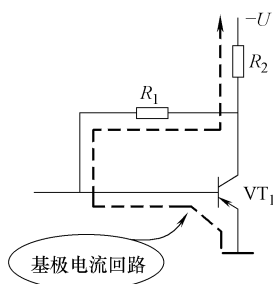


图 11-25 基极电流回路示意图

## 11.2 图解晶体管集电极直流电路和发射极直流电路

本节阅读建议：详细阅读，全面深入掌握晶体管集电极直流电路和发射极直流电路工作原理。本节所需要的基础知识主要是电阻电路等。

本节难度系数：4 级。

本节记忆系数：9 级。

典型的集电极直流电路和发射极直流电路比较简单，但是它们的电路变形较多，是电路分析的难点。

### ★11.2.1 图解晶体管集电极直流电路

晶体管集电极直流电路就是集电极与直流工作电压端之间的电路，这一直流电路是晶体管三个电极直流电路中变化最少的电路。



#### 重要提示

工作在放大状态下的晶体管，无论晶体管集电极电路如何变化，晶体管的集电极必须与直流工作电压端或地线之间构成直流回路，构成集电极的直流通路。只要是能够构成集电极直流电流回路的元器件都可以是集电极直流电路中的元器件。

晶体管集电极与直流电压端之间，或是与地线之间有两种情况：

- 1) 集电极直接与直流电压端相连（这之间没有元器件）。
- 2) 通过一个电阻器或其他什么元器件相连。这两种集电极直流电路与该晶体管构成何种类型放大器有关。

分析这一直流电路时，首先在电路中找到晶体管电路符号，然后找到晶体管的集电极，从集电极出发向直流电压端或是地线端查找元器件，这些元器件中的电阻器或是电感器、变压器很可能是



构成集电极直流电路的元器件，特别是电阻器。

电容器可以不去考虑，因为电容器具有隔直流电流的特性，它不能构成直流电路。

### 1. 集电极直流电路之一

图 11-26 所示是正电源供电 NPN 型晶体管典型集电极直流电路之一。电路中的  $VT_1$  是 NPN 型晶体管， $+U$  是正极性直流工作电压，电阻  $R_2$  接在晶体管  $VT_1$  集电极与正极性直流工作电压  $+U$  端之间，集电极电阻  $R_2$  构成晶体管  $VT_1$  集电极电流回路。

集电极直流电流的回路（见图 11-27）是：正极性直流工作电压  $+U$  端  $\rightarrow R_2 \rightarrow VT_1$  集电极  $\rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow L_1 \rightarrow$  地端。

晶体管集电极直流电流回路是从电源端经过晶体管集电极、发射极到地线，再由电源内电路（电路中未画出）构成的闭合回路。

### 2. 集电极直流电路之二

图 11-28 所示是正电源供电 NPN 型晶体管典型集电极直流电路之二。当晶体管接成共集电极放大器时，晶体管的集电极将直接接在直流工作电压  $+U$  端，而没有集电极负载电阻，此时必须在晶体管  $VT_1$  的发射极接上发射极电阻  $R_2$ 。

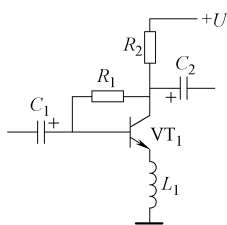


图 11-26 集电极直流电路

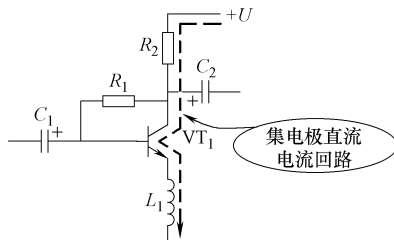


图 11-27 集电极直流电流回路示意图

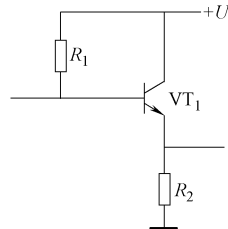


图 11-28 集电极直流电路

集电极直流电流回路（见图 11-29）是：正极性直流工作电压  $+U$  端  $\rightarrow VT_1$  集电极  $\rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow R_2 \rightarrow$  地端。

### 3. 集电极直流电路之三

图 11-30 所示是负电源供电 NPN 型晶体管典型集电极直流电路之一。电路中的  $VT_1$  是 NPN 型晶体管， $-U$  是负极性直流工作电压，电阻  $R_4$  接在晶体管  $VT_1$  集电极与地线之间，这样构成晶体管  $VT_1$  集电极直流电流回路。

集电极直流电流回路（见图 11-31）是：地线端  $\rightarrow R_4 \rightarrow VT_1$  集电极  $\rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow R_3 \rightarrow$  负极性直流工作电压  $-U$  端。

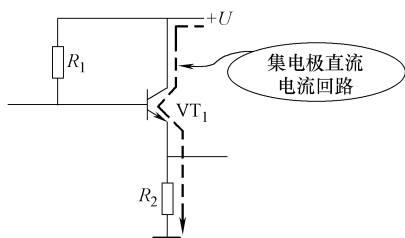


图 11-29 集电极直流电流回路示意图

### 4. 集电极直流电路之四

图 11-32 所示是负电源供电 NPN 型晶体管典型集电极直流电路之二。电路中的  $VT_1$  是 NPN 型晶体管，采用负极性直流工作电压  $-U$ ， $R_2$  是  $VT_1$  发射极电阻。 $VT_1$  集电极直接接地线，没有集电极负载电阻，晶体管  $VT_1$  构成共集电极放大器。

集电极直流电流回路（见图 11-33）是：地线端  $\rightarrow VT_1$  集电极  $\rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow R_2 \rightarrow$  负极性直流工作电压  $-U$  端。

### 5. 集电极直流电路之五

图 11-34 所示是正电源供电 PNP 型晶体管集电极直流电路。电路中的  $VT_1$  是 PNP 型晶体管， $+U$  是正极性直流工作电压，电阻  $R_4$  接在晶体管  $VT_1$  集电极与地线之间，集电极电阻  $R_4$  构成晶体管  $VT_1$  集电极直流电流回路。

集电极直流电流回路（见图 11-35）是：正极性直流工作电压  $+U$  端  $\rightarrow R_3 \rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow VT_1$  集电极  $\rightarrow R_4 \rightarrow$  地端。

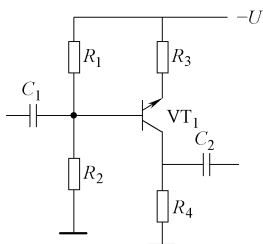


图 11-30 集电极直流电路

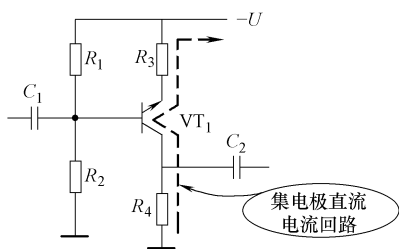


图 11-31 集电极直流电流回路示意图

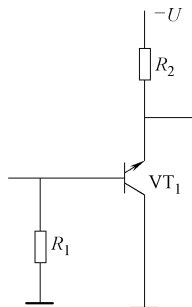


图 11-32 集电极直流电路

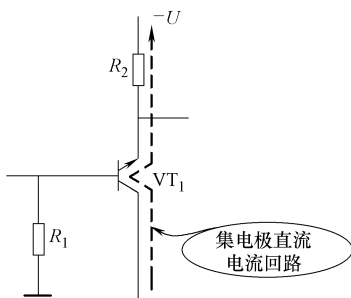


图 11-33 集电极直流电流回路示意图

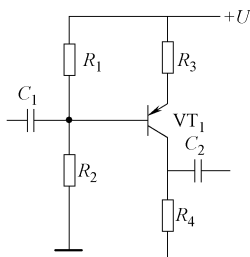


图 11-34 正电源供电 PNP 型晶体管集电极直流电路

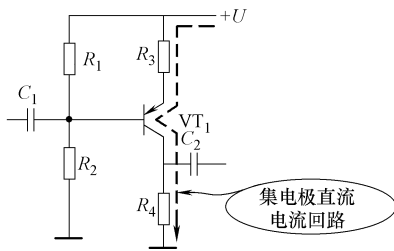


图 11-35 集电极直流电流回路示意图

## 6. 集电极直流电路之六

图 11-36 所示是负电源供电 PNP 型晶体管集电极直流电路。电路中的  $VT_1$  是 PNP 型晶体管， $-U$  是负极性直流工作电压，电阻  $R_3$  接在晶体管  $VT_1$  集电极与负极性直流工作电压  $-U$  之间，这样构成晶体管  $VT_1$  集电极直流电流回路。

集电极直流电流回路（见图 11-37）是：地线端  $\rightarrow R_4 \rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow VT_1$  集电极  $\rightarrow R_3 \rightarrow$  负极性直流工作电压  $-U$  端。

## 7. 变形的集电极直流电路

图 11-38 所示是一种变形晶体管集电极直流电路。电路中的  $VT_1$  是 NPN 型晶体管，采用正极性直流电压  $+U$  供电， $R_1$  是晶体管  $VT_1$  固定式偏置电阻， $T_1$  是变压器，它的一次绕组  $W_1$  接在晶体管  $VT_1$  集电极回路中。

根据集电极直流电路分析方法可知， $VT_1$  集电极与直流工作电压  $+U$  之间有两个元件，一是变压器  $T_1$  的一次绕组  $W_1$ ，二是电容器  $C_1$ ，在这一电路中集电极回路中没有电阻。

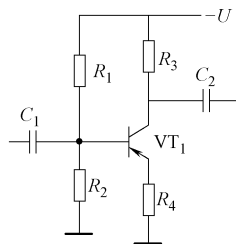


图 11-36 集电极直流电路

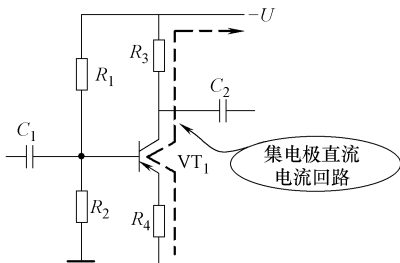


图 11-37 集电极直流电流回路示意图

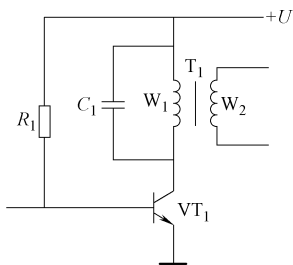


图 11-38 一种变形晶体管集电极直流电路



图 11-39 所示是集电极直流电流回路示意图。



### 重要提示

由于电容器具有隔开直流电的特性, 所以电容器  $C_1$  不能构成  $VT_1$  集电极直流电流回路。根据绕组的特性可知, 绕组  $W_1$  可以让直流电流流过, 所以  $T_1$  的一次绕组  $W_1$  构成了这一电路中晶体管  $VT_1$  的集电极直流电路。

## ★11.2.2 图解晶体管发射极直流电路

晶体管发射极直流电路就是发射极与直流电压端, 或发射极与地线端之间的电路, 这一直流电路的变化比集电极直流电路变化多。

### 1. 发射极直流电路之一

图 11-40 所示是一种发射极直流电路。电路中的  $VT_1$  是 NPN 型晶体管, 采用正极性直流工作电压  $+U$  供电。

晶体管  $VT_1$  发射极直接接地线, 构成发射极直流电流回路: 从  $VT_1$  内部流出的发射极电流经发射极直接流到地线。

$VT_1$  发射极电路中没有任何元器件, 这是最简单的发射极直流电路。

### 2. 发射极直流电路之二

图 11-41 所示是另一种发射极直流电路。电路中的  $VT_1$  是 NPN 型晶体管, 采用负极性直流工作电压  $-U$  供电。

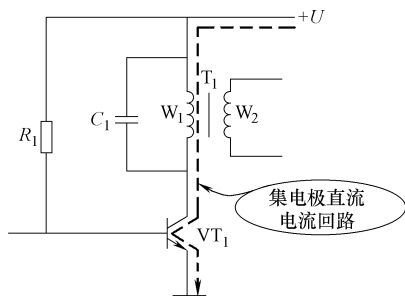


图 11-39 集电极直流电流回路示意图

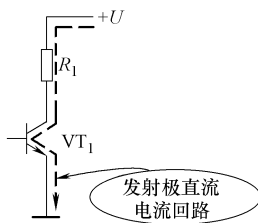


图 11-40 一种发射极直流电路

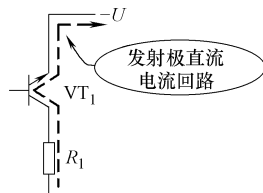


图 11-41 另一种发射极直流电路

晶体管  $VT_1$  发射极直接接在负极性直流工作电压  $-U$  端, 构成发射极直流电流回路: 从  $VT_1$  内部流出的发射极电流, 经发射极直接流到  $-U$  端。

### 3. 发射极直流电路之三

图 11-42 所示是另一种发射极直流电路。电路中的  $VT_1$  是 PNP 型晶体管, 采用正极性直流工作电压  $+U$ 。

晶体管  $VT_1$  发射极通过电阻  $R_1$  接直流工作电压  $+U$  端, 电阻  $R_1$  构成了发射极直流电流回路。从直流工作电压  $+U$  端流出的直流电流, 经过  $R_1$ , 从  $VT_1$  发射极流入  $VT_1$  内。

$VT_1$  发射极直流电流回路中只有一只电阻  $R_1$ 。因为电阻  $R_1$  具有负反馈作用, 所以  $R_1$  称为发射极负反馈电阻。

### 4. 发射极直流电路之四

图 11-43 所示是另一种发射极直流电路。电路中的  $VT_1$  是 PNP 型晶体管, 采用负极性直流工作电压  $-U$ 。

晶体管  $VT_1$  发射极通过电阻  $R_2$  接地, 电阻  $R_2$  构成了  $VT_1$  发射极直流电流回路。

$T_1$  发射极直流电流回路是: 从地线端流入  $R_2$  的直流电流通过  $R_2$ , 由  $VT_1$  发射极流入  $VT_1$

内部。

### 5. 发射极直流电路变形电路之一

发射极直流电路变形电路“丰富多彩”，电路分析时只要抓住根本一点，就是发射极直流电流主要通过了哪个元件，该元件就是构成发射极直流电路的主要元件，在这一电路分析中主要运用并联电路的阻抗特性。

图 11-44 所示是一种发射极直流电路变形电路。电路中的  $VT_1$  是 NPN 型晶体管，采用正极性直流工作电压  $+U$  供电。从电路中可以看出， $VT_1$  发射极直流电流回路中有电阻  $R_4$  和电容器  $C_1$ 。

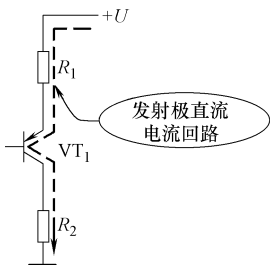


图 11-42 另一种发射极直流电路

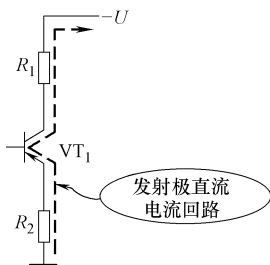


图 11-43 另一种发射极直流电路

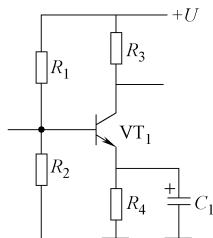


图 11-44 一种发射极直流电路变形电路

根据电容器隔直流特性可知， $VT_1$  发射极直流电流不能通过电容  $C_1$ ， $VT_1$  发射极直流电流只能流过电阻  $R_4$ 。

在这一电路分析中，如果不了解电容器的有关特性，电路分析比较困难，甚至出错。

### 6. 发射极直流电路变形电路之二

图 11-45 所示是另一种发射极直流电路变形电路。电路中的  $VT_1$  是 NPN 型晶体管，电阻  $R_1$  构成  $VT_1$  基极-集电极负反馈式偏置电路，采用正极性直流工作电压供电。

从电路中可以看出， $VT_1$  发射极直流电流回路中有电感器  $L_1$ 、电容器  $C_1$ 、电阻器  $R_3$ 。

电感  $L_1$  虽然能够让直流电流通过，但是  $C_1$  不能让直流电流通过，因为  $L_1$  和  $C_1$  串联，所以  $L_1$  和  $C_1$  这个串联支路不能让晶体管  $VT_1$  发射极直流电流通过。

这样，这一电路中只有电阻  $R_3$  构成了  $VT_1$  发射极直流电流回路， $VT_1$  发射极直流电流通过  $R_3$  流到地端，图 11-46 所示是发射极直流电流回路示意图。

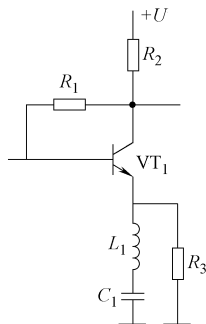


图 11-45 另一种发射极直流电路变形电路

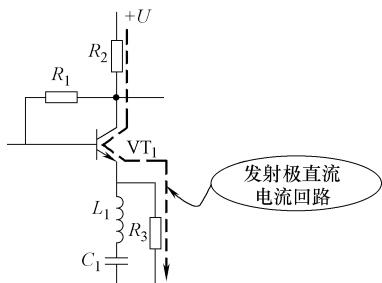


图 11-46 发射极直流电流回路示意图

### 7. 发射极直流电路变形电路之三

图 11-47 所示是另一种发射极直流电路变形电路。电路中的  $VT_1$  是 NPN 型晶体管，电阻  $R_1$  构成  $VT_1$  固定式偏置电路，采用正极性直流工作电压供电。从电路中可以看出， $VT_1$  发射极直流电流回路中有电感器  $L_1$ 、电容器  $C_1$ 、电阻器  $R_3$ ，这三个元件是并联的。





从电路中可以看出,电阻  $R_3$  和电感  $L_1$  都可以流过  $VT_1$  发射极直流电流,但是  $L_1$  的直流电阻非常小,远远小于电阻  $R_3$  的阻值,所以在这一电路中,从  $VT_1$  发射极流出的直流电流通过  $L_1$  流到地端,而不是通过  $R_3$  流到地端。

构成这一电路中  $VT_1$  发射极直流电流回路的主要元件是线圈  $L_1$ 。图 11-48 所示是发射极直流电流回路示意图。

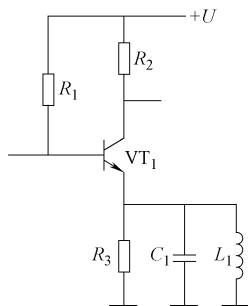


图 11-47 另一种发射极直流电路变形电路

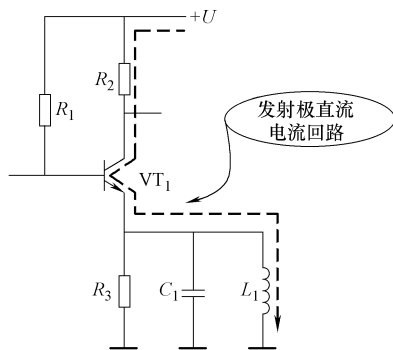


图 11-48 发射极直流电流回路示意图

## 11.3 图解多级放大器中直流偏置电路和甲乙类放大器直流偏置电路

本节阅读建议:仔细阅读,全面掌握多级放大器中直流偏置电路和甲乙类放大器直流偏置电路工作原理。本节所需要的基础知识主要是电阻电路、反馈电路等。

本节难度系数:6级。

本节记忆系数:8级。

### ★11.3.1 图解多级放大器中直流偏置电路

#### 1. 双管阻容放大器中的直流偏置电路

图 11-49 所示是双管阻容耦合放大器。这一多级放大器共由两个单级放大器组成,两级放大器之间通过电容耦合,所以称为双管阻容耦合放大器。这一多级放大器中共有两只晶体管  $VT_1$  和  $VT_2$  组成两级放大器,两个单级放大器之间通过电容  $C_3$  耦合。电路中的  $VT_1$  是第一级放大管,  $VT_2$  是第二级放大管,  $U_i$  是输入信号,  $U_o$  是通过两级放大器放大后的输出信号。

这一多级放大器采用电容  $C_3$  进行级间耦合,这样两级放大器的直流电路是分开的,所以要分别进行两级放大器直流电路分析。

1) 第一级放大器直流偏置电路。直流工作电压  $+U$  通过  $R_6$  加到  $VT_2$  管集电极,  $+U$  经电阻  $R_6$  和  $R_5$  加到  $VT_2$  管基极,  $R_7$  将  $VT_2$  管发射极接地。

2) 第二级放大器直流偏置电路。直流工作电压  $+U$  经  $R_4$  和  $C_2$  退耦和滤波后加到第一级放大器,提供直流工作电压。

$R_2$  是  $VT_1$  管集电极负载电阻,  $R_2$  为  $VT_1$  管提供直流工作电压。 $R_1$  是  $VT_1$  管固定式偏置电阻,  $R_3$  是  $VT_1$  管发射极负反馈电阻。

如图 11-50 所示是这一多级放大器直流电流回路示意图。

#### 2. 双管直接耦合放大器中直流偏置电路

如图 11-51 所示是由两级放大器构成的双管直接耦合放大器。电路中的  $VT_1$  管构成第一级放大器,  $VT_2$  管构成第二级放大器,从图中可以看出,两管之间没有耦合电容,而是直接相连,所以称为直接耦合放大器。

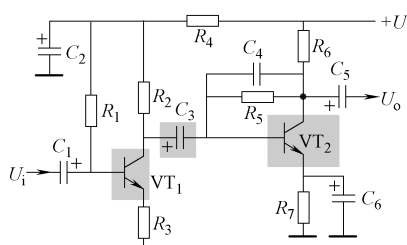


图 11-49 双管阻容耦合放大器

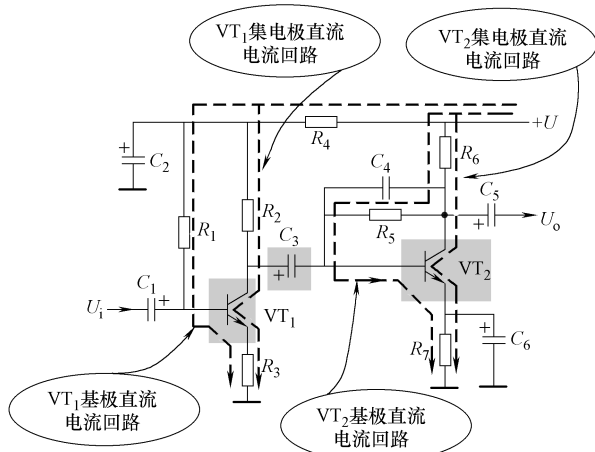


图 11-50 多级放大器直流电流回路示意图

1) 特殊偏置电阻  $R_4$ 。 $R_4$  是  $VT_1$  管基极偏置电阻，为  $VT_1$  管提供基极偏置电压，这是一个比较特殊的基极偏置电路，只出现在双管直接耦合电路中， $R_4$  不是接在直流工作电压  $+U$  端，而是接在  $VT_2$  管发射极上，利用  $R_6$  上的发射极直流电压作为  $VT_1$  管基极直流偏置电压，这一点与前面介绍的偏置电路不同。如图 11-52 所示是  $VT_1$  管基极直流电流回路示意图。

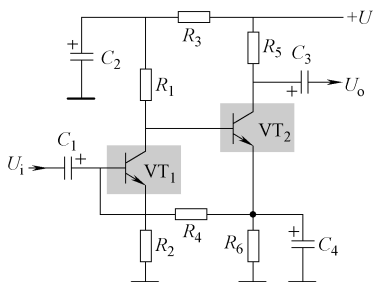


图 11-51 双管直接耦合放大器电路

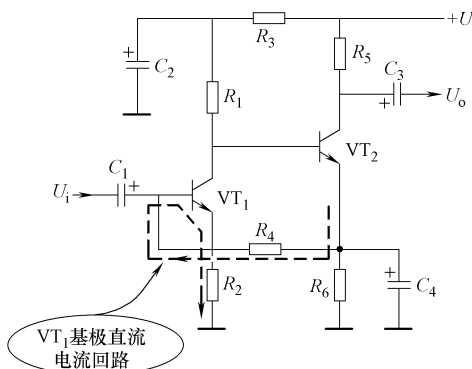


图 11-52  $VT_1$  管基极直流电流回路示意图

2)  $VT_2$  管基极偏置电路。放大器接通直流电源后， $R_2$  给  $VT_2$  管提供基极偏置电压， $VT_2$  有基极电流，有发射极电流，有发射极电压， $VT_2$  管发射极电压经  $R_4$  加到  $VT_1$  管基极，使  $VT_1$  管也获得基极偏置电压， $VT_1$  管有基极电流，这样  $VT_1$  管导通而进入放大工作状态。 $VT_1$  管导通后其集电极直流电压直接加到  $VT_2$  管基极，作为  $VT_2$  管基极偏置电压。如图 11-53 所示是  $VT_2$  管基极直流电流回路示意图。

3)  $VT_1$  和  $VT_2$  两管集电极直流电流回路。 $R_1$  是  $VT_1$  管集电极负载电阻，同是又是  $VT_2$  管偏置电阻之一，是  $VT_2$  管的上偏置电阻。 $R_2$  是  $VT_1$  管发射极负反馈电阻。

$R_5$  是  $VT_2$  管集电极负载电阻， $R_6$  是  $VT_2$  管发射极直流负反馈电阻。

图 11-54 所示是  $VT_1$  和  $VT_2$  两管集电极直流电流回路示意图。

4)  $VT_2$  管偏置电路可理解为分压式偏置电路。 $VT_2$  管偏置电路可以理解为是分压式偏置电路，即由  $R_1$ 、 $VT_1$  管内阻（导通后的集电极与发射极之间电阻）和  $R_2$  构成的分压电路。 $R_1$  是这一分压式偏置电路中的上偏置电阻， $VT_1$  管导通后的集电极与发射极之间内阻和  $R_2$  是下偏置电阻。

5) 两管直流电路相互影响。由于  $VT_1$  管集电极和  $VT_2$  管基极之间没有隔直元件，所以当  $VT_1$  管直流电路发生改变时，引起  $VT_1$  管集电极直流电压大小变化，而这一电压变化直接加到  $VT_2$  管基



极上, 将引起  $VT_2$  管直流工作电流的相应变化, 这是直接耦合电路的一个特点, 即两级放大器电路之间的直流电路相互牵制, 对这种直接耦合放大器进行直流电路分析时要注意这一点。

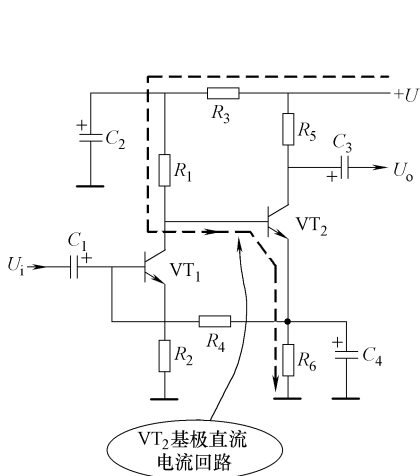


图 11-53  $VT_2$  管基极直流电流回路示意图

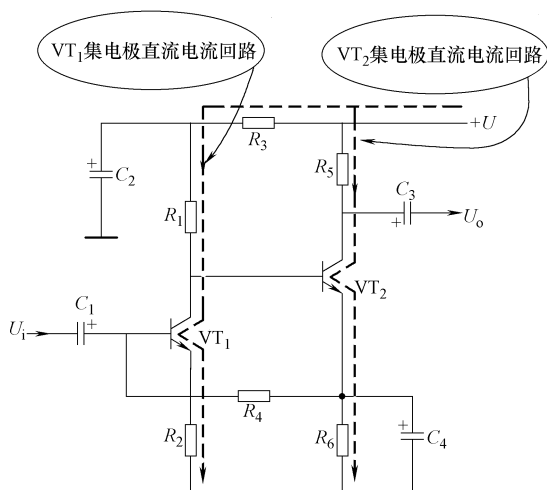


图 11-54  $VT_1$  和  $VT_2$  管集电极直流电流回路示意图



#### 重要提示

$VT_1$  和  $VT_2$  两管导通顺序是: 直接耦合电路中,  $VT_2$  管先导通,  $VT_1$  管在  $VT_2$  管之后导通, 如果  $VT_2$  管不导通,  $VT_1$  管就不可能导通, 因为只有  $VT_2$  管导通后才有其发射极电压, 才有  $VT_1$  管基极偏置电压。

### ★11.3.2 图解甲乙类放大器直流偏置电路

为了使功率放大管工作在甲乙类状态, 需要给功率管建立静态偏置电路, 以提供较小的静态工作电流。

输出级放大器的静态偏置电路有多种形式, 掌握这些电路工作原理才能真正掌握推挽输出级放大器的工作原理。

#### 1. 变压器耦合推挽放大器中的直流偏置电路

图 11-55 所示是推挽放大器工作原理电路。 $VT_1$  和  $VT_2$  构成推挽输出级电路,  $VT_1$  和  $VT_2$  是 NPN 型大功率晶体管, 性能参数非常接近 (同型号晶体管, 所谓配对), 两管构成一级放大器。 $T_1$  称为输入耦合变压器,  $T_2$  称为输出耦合变压器。

1) 两管基极直流电流回路。图 11-56 所示是两管基极直流电流回路示意图,  $R_1$  是两管共用的固定式偏置电阻, 为  $VT_1$  和  $VT_2$  管提供很小的静态电流, 使两管工作在甲乙类状态。 $C_1$  为滤波电容。

2)  $VT_1$  管导通时集电极直流电流回路。在  $VT_1$  管进入导通放大状态时,  $VT_1$  管导通时集电极直流电流回路 (见图 11-57) 是:  $+U \rightarrow T_2$  一次绕组上半部分  $\rightarrow VT_1$  集电极  $\rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow R_2 \rightarrow$  地。

3)  $VT_2$  管导通时集电极直流电流回路。在  $VT_2$  管进入导通放大状态时,  $VT_2$  管导通时集电极直流电流回路 (见图 11-58) 是:  $+U \rightarrow T_2$  一次绕组下半部分  $\rightarrow VT_2$  集电极  $\rightarrow VT_2$  发射极  $\rightarrow R_2 \rightarrow$  地。

4) 认清输入变压器  $T_1$  两个输出信号。二次绕组的中心抽头通过电容  $C_1$  交流接地, 二次绕组两端输出大小相等、相位相反的两组电压 (见图 11-59) 用来驱动  $VT_1$  和  $VT_2$  管。

$VT_1$  基极幅度很大的正半周信号, 使  $VT_1$  导通, 负半周给  $VT_1$  反向偏置,  $VT_1$  截止。 $VT_2$  基极为正半周信号, 使  $VT_2$  导通, 信号为负半周时,  $VT_2$  截止。

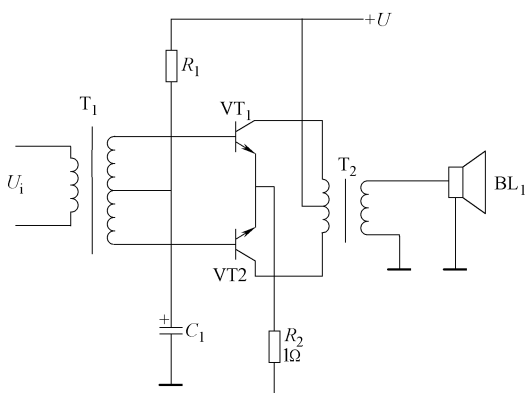


图 11-55 推挽放大器工作原理电路

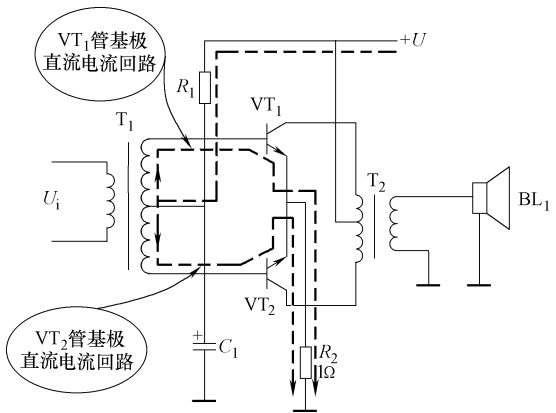


图 11-56 两管基极直流电流回路示意图

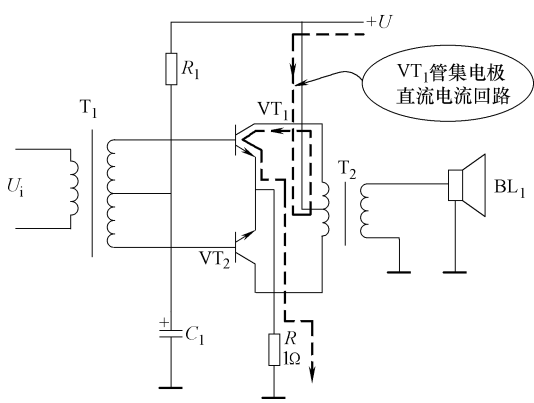


图 11-57 VT<sub>1</sub>管集电极直流电流回路示意图

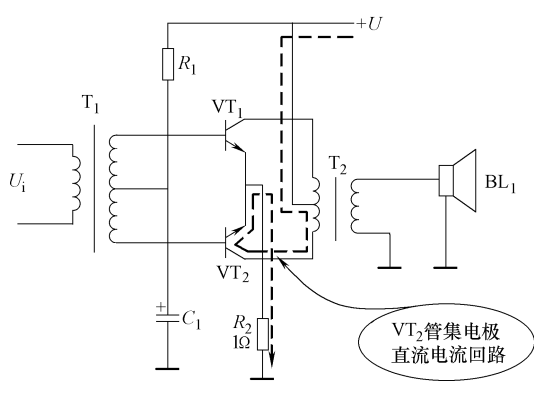


图 11-58 VT<sub>2</sub>管集电极直流电流回路示意图

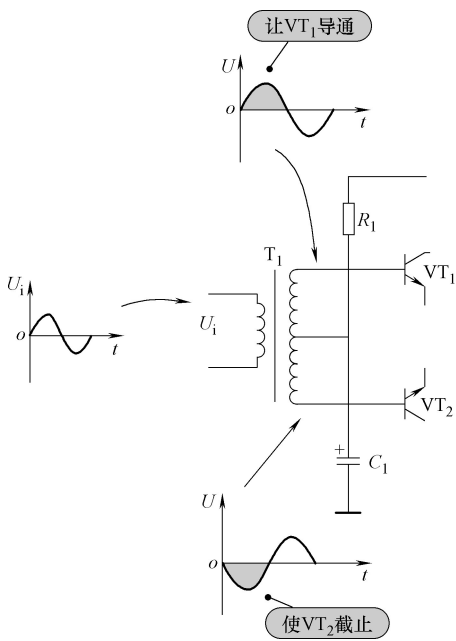


图 11-59 大小相等、相位相反的两组信号

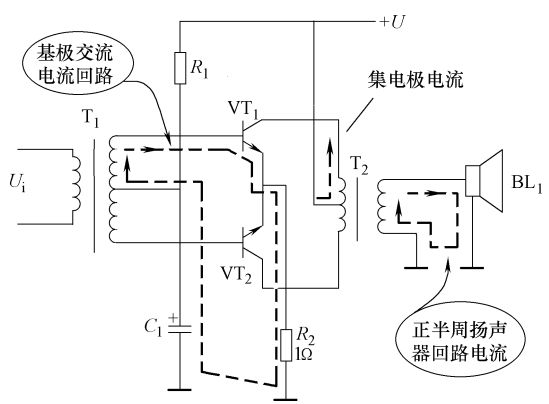


图 11-60 VT<sub>1</sub>管导通放大时信号电流回路示意图



5)  $VT_1$  管导通放大过程。图 11-60 所示是  $VT_1$  管导通放大时信号电流回路示意图, 正半周信号电流在  $VT_1$  管基极回路流过, 这时  $VT_1$  管集电极电流流过输出变压器抽头以上一次绕组, 在  $T_2$  二次回路输出信号电流, 这一电流流过扬声器  $BL_1$ , 使  $BL_1$  发声。

6)  $VT_2$  管导通放大过程。图 11-61 所示是  $VT_2$  管导通放大时信号电流回路示意图, 正半周信号电流在  $VT_2$  管基极回路流过, 这时  $VT_2$  管集电极电流流过输出变压器抽头以下一次绕组, 在  $T_2$  一次回路输出信号电流, 这一电流流过扬声器  $BL_1$ , 使  $BL_1$  发声。



### 重要提示

$VT_1$  管导通时信号一个半周电流流过  $T_2$  一次绕组,  $VT_2$  管导通时信号另一个方向相反的半周电流流过  $T_2$  一次绕组, 这样  $T_2$  二次绕组输出正、负半周一个完整的信号, 加到扬声器上。

7) 推挽工作状态。 $VT_1$  管基极为正半周信号时,  $VT_2$  管基极为负半周信号;  $VT_1$  管基极为负半周信号时,  $VT_2$  管基极为正半周信号。两只晶体管一只导通、一只截止, 分别放大半周信号称为推挽工作状态。

## 2. 二极管构成的推挽输出级直流偏置电路

图 11-62 所示是由二极管构成的推挽输出级直流偏置电路。 $VT_1$  是推动管,  $VT_2$  和  $VT_3$  构成推挽输出级,  $VD_1$  和  $VD_2$  是输出管  $VT_2$  和  $VT_3$  的偏置二极管, 给  $VT_2$  和  $VT_3$  很小的静态偏置电流, 使两管工作在甲乙类状态。

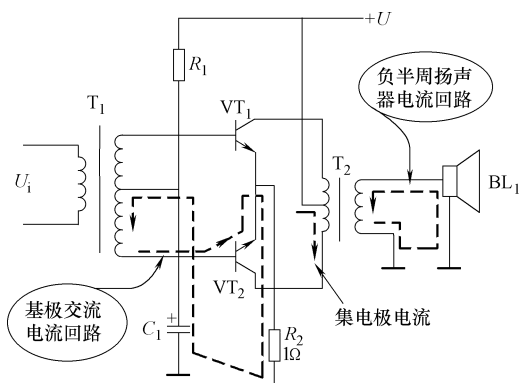


图 11-61  $VT_2$  管导通放大时信号电流回路示意图

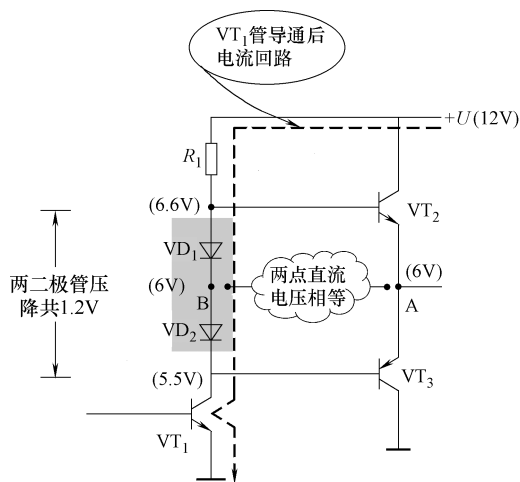


图 11-62 二极管构成的推挽输出级直流偏置电路

A 点是这一放大器的输出端, 该电路的直流工作电压是 +12V。

1) 二极管导通后压降。二极管  $VD_1$  和  $VD_2$  串联, 它们通过  $R_1$  加有直流工作电压 +  $U$  的作用下, 处于导通状态, 其导通后的电流回路 (见图 11-63) 是: +  $U$  端  $\rightarrow R_1 \rightarrow VD_1$  正极  $\rightarrow VD_1$  负极  $\rightarrow VD_2$  正极  $\rightarrow VD_2$  负极  $\rightarrow VT_1$  集电极  $\rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow$  地端

每只二极管导通后的管压降为 0.6V, 这样  $VT_2$  基极电压比  $VT_3$  基极电压高出  $2 \times 0.6V$ , 为 1.2V, 使两管基极之间有了直流电压降, 这就是两管的静态偏置电压。

2)  $VT_1$  管集电极电压是关键。 $VD_1$  和  $VD_2$  两端的电压降不变,  $VT_1$  集电极直流电压不仅决定了  $VT_3$  基极电压大小, 同时决定了  $VT_2$  基极直流电压大小。

改变  $VT_1$  集电极直流电压大小的方法是改变它的静态工作电流, 即改变基极、集电极电流。集电极电流大时, 在电阻  $R_1$  上的压降大, 集电极电压就低, 反之则高。

只要适当调整  $VT_1$  静态工作电流大小, 就可以使电路中 B 点的直流电压等于输出端 A 点直流电压。

3) 输出管偏置电路工作原理。由于导通的  $VD_1$  和  $VD_2$ , 使  $VT_2$  基极直流电压高于发射极电压  $0.6V$ , 对于 NPN 型晶体管  $VT_2$  而言是正向偏置电压;  $VT_3$  基极直流电压低于发射极电压  $0.6V$ , 对于 PNP 型晶体管  $VT_3$  而言是正向偏置电压。这样, 两只输出管建立了静态偏置电流, 工作在甲乙类状态。

4) 对  $VD_1$  和  $VD_2$  的理解。 $VD_1$  和  $VD_2$  二极管导通后, 它们的内阻很小, 在进行交流电路分析时, 可以认为两只二极管的内阻为零。

图 11-64 所示是另一种二极管偏置电路, 它与前不同之处是输入信号从两只串联二极管的串联处输入信号。

图 11-65 所示是采用一只二极管构成的偏置电路, 它的特点是只用一只二极管, 这样输出管  $VT_2$  和  $VT_3$  的直流偏置电压比较小。

### 3. 电阻和二极管混合构成的推挽输出级直流偏置电路

图 11-66 所示是电阻和二极管构成的推挽输出级偏置电路。 $VT_1$  是推动管,  $VT_2$  和  $VT_3$  构成推挽输出级电路,  $R_2$  与  $VD_1$  构成  $VT_2$  和  $VT_3$  直流偏置电路, 使两管工作在甲乙类状态。

$R_2$  与  $VD_1$  串联后接在  $VT_2$  和  $VT_3$  基极之间, 电流从上而下地流过  $R_2$  和  $VD_1$ , 在  $VT_2$ 、 $VT_3$  基极之间产生了电压差, 这个电压差为  $VT_2$  和  $VT_3$  提供静态直流偏置电压。

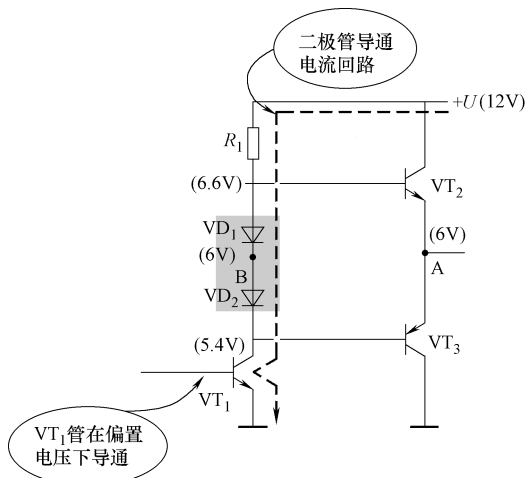


图 11-63 二极管导通电流回路示意图

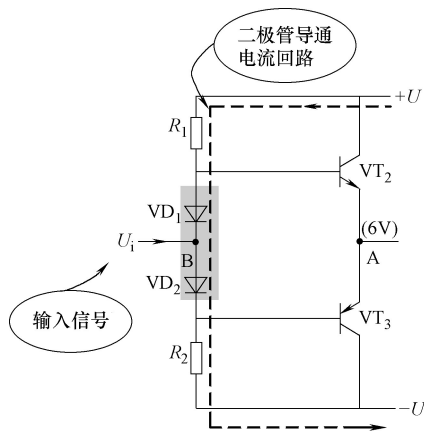


图 11-64 另一种二极管偏置电路

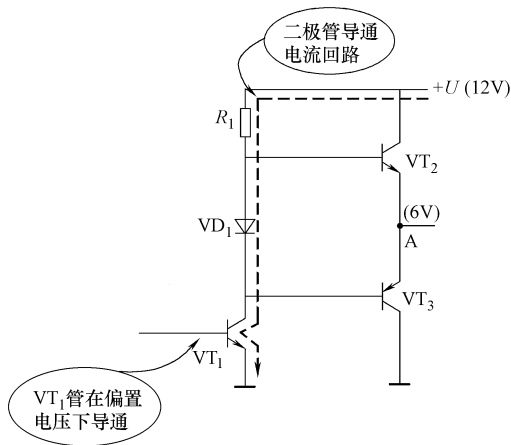


图 11-65 一只二极管构成的偏置电路

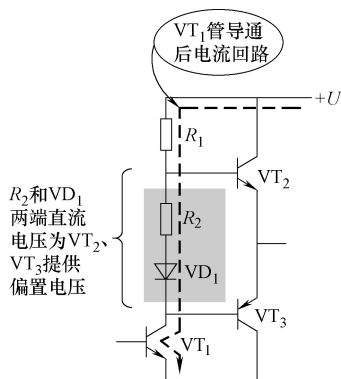


图 11-66 电阻和二极管构成的推挽输出级偏置电路





4. UBE 倍增电路

图 11-67 所示是 UBE 倍增电路原理电路，这一电路由一只晶体管  $VT_1$  和两只电阻  $R_1$  和  $R_2$ ，利用  $VT_1$  管集电极和发射极之间的直流电压降为功放管  $VT_2$  和  $VT_3$  提供直流偏置电压。

图 11-68 所示是实用的 UBE 倍增电路，电路中  $VT_2$ 、 $VT_3$ 、 $VT_4$ 、 $VT_5$  构成复合管互补输出级电路。

★11.3.3 小信号检波电路中的二极管正向偏置电路

一般检波电路中不给检波二极管加入直流电压，但在一些小信号检波电路中，由于调幅信号的幅度比较小，不足以使检波二极管导通，所以给检波二极管加入较小的正向直流偏置电压（见图 11-69），使检波二极管处于微导通状态。

图 11-70 所示是这一电路中二极管偏置电流回路示意图。

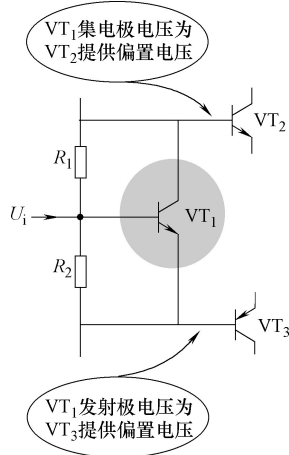


图 11-67 UBE 倍增电路原理电路

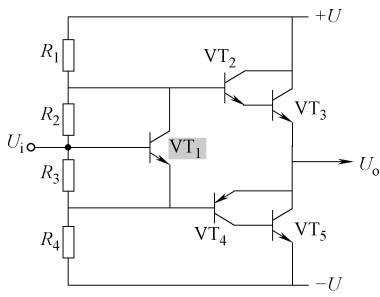


图 11-68 实用的 UBE 倍增电路

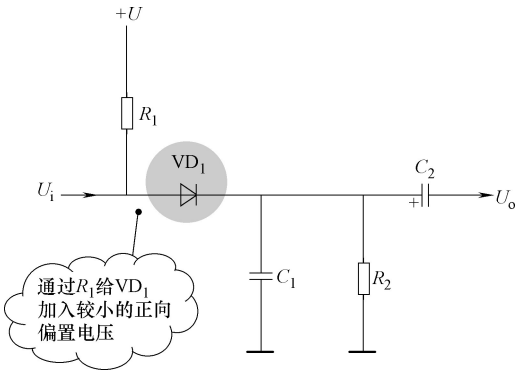


图 11-69 检波二极管正向直流偏置电路

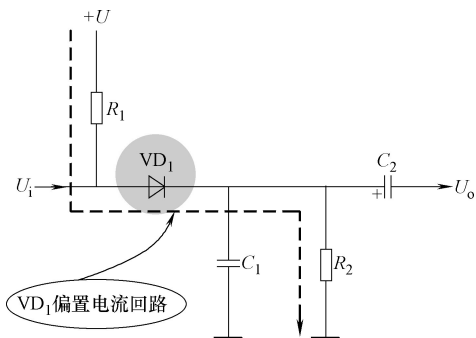


图 11-70 二极管偏置电流回路示意图

11.4 图解场效应晶体管实用偏置电路和电子管偏置电路

本节阅读建议：细心阅读，全面掌握场效应晶体管实用偏置电路工作原理，了解电子管偏置电路工作原理。本节所需要的基础知识主要是电阻电路等。

本节难度系数：6 级。

本节记忆系数：7 级。

### ★11.4.1 图解场效应晶体管实用偏置电路

#### 1. 场效应晶体管偏置电路 3 个特点

对场效应晶体管偏置电路的 3 个特点说明如下：

1) 只要偏置电压，不要偏置电流。这一点与晶体管偏置电路不同，因为场效应晶体管是电压控制器件，通过栅极电压控制漏极电流。

2) 偏置电压要稳定。场效应晶体管是电压控制器件，栅极的电压变化对漏极电流影响大。

3) 注意偏置电压的极性。晶体管偏置电路中，基极偏置电压极性与集电极一致，无论何种偏置电路，集电极电压低于发射极电压时，基极电压也低于发射极电压；集电极电压高于发射极电压时，基极电压也高于发射极电压。但是，场效应放大器偏置电路要复杂得多。

#### 2. 场效应晶体管固定式偏置电路

常见的场效应晶体管偏置电路有 4 种。

场效应晶体管与晶体管放大器一样需要直流偏置电路，这里以 N 沟道结型场效应晶体管为例，讲解偏置电路工作原理。

图 11-71 所示是 N 沟道结型场效应晶体管固定式偏置电路，又称外偏置电路。它与晶体管中的固定式偏置电路不同，它需要采用两个直流电源，这是这种偏置电路的一个缺点。

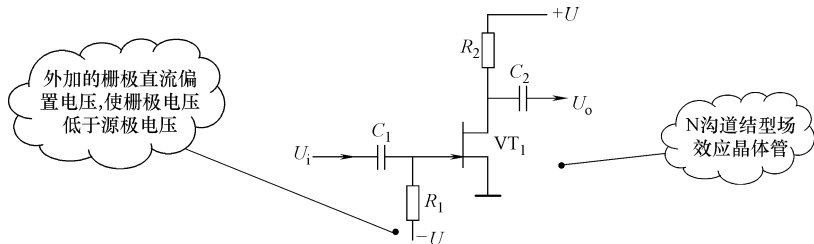


图 11-71 N 沟道结型场效应晶体管固定式偏置电路

#### 重要提示

电路中的  $+U$  通过漏极负载电阻  $R_2$  加到  $VT_1$  管漏极， $VT_1$  管源极直接接地。 $-U$  是栅极专用偏置直流电源，为负极性电源，它通过栅极偏置电阻  $R_1$  加到  $VT_1$  管栅极，使栅极直流电压低于源极直流电压，建立  $VT_1$  管正常偏置电压。

$C_1$  和  $C_2$  分别是输入端耦合电容和输出端耦合电容。

这种偏置电路的优点是  $VT_1$  管工作点可以任意选择，不受其他因素的制约，也充分利用了漏极直流电源  $+U$ ，可以用于低电压供电下的放大器中。

#### 3. 场效应晶体管自给栅偏压电路

图 11-72 所示是 N 沟道结型场效应晶体管自给栅偏压电路。电路中的  $R_1$  是栅极电阻， $R_2$  是漏极负载电阻， $C_3$  是源极旁路电容。

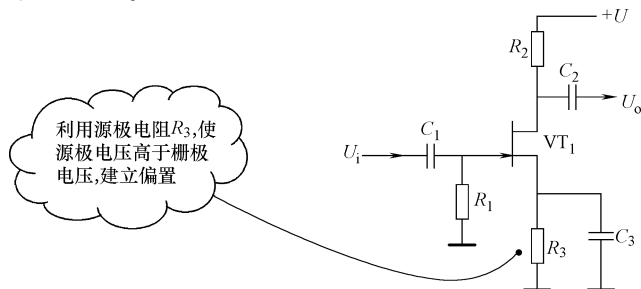


图 11-72 N 沟道结型场效应晶体管自给栅偏压电路



### 重要提示

自给栅偏压电路的原理是：源极电流从  $VT_1$  管源极流出，经过  $R_3$  到地线，这样在  $R_3$  上的电压降使  $VT_1$  管源极电压高于地线电压； $VT_1$  管栅极通过电阻  $R_1$  接地，使  $VT_1$  管栅极电压等于地线电压，而  $VT_1$  管源极电压高于地线电压，这样  $VT_1$  栅极电压低于源极电压，给  $VT_1$  管栅极建立负电压。

源极旁路电容  $C_3$  将  $VT_1$  管源极输出的交流信号旁路到地线。

$R_3$  具有直流负反馈的作用，可以稳定  $VT_1$  管的工作状态，这一点与晶体管放大器中发射极负反馈作用相同。

### 4. 场效应晶体管混合偏置电路

图 11-73 所示是 N 沟道结型场效应晶体管混合偏置电路，它在自给栅偏压电路基础上给  $VT_1$  管栅极加上正极性直流电压。

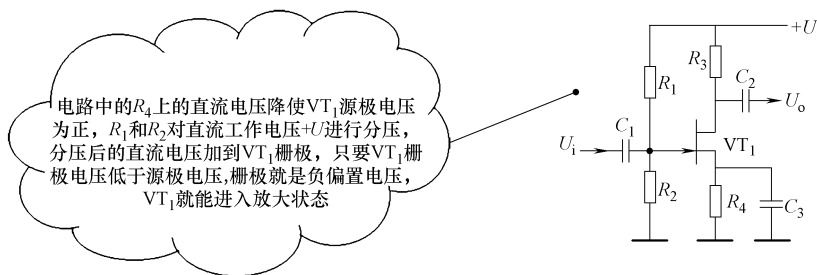


图 11-73 N 沟道结型场效应晶体管混合偏置电路

### 重要提示

采用混合偏置电路可以使  $VT_1$  管工作点的选择范围更大点，在源极电阻  $R_4$  大小确定后，通过调整  $R_1$  和  $R_2$  阻值大小，就可以保证  $VT_1$  管栅极为负偏压。

加大源极电阻  $R_4$  阻值可以加大直流负反馈量，更好地稳定  $VT_1$  管工作。但是，由于  $R_4$  阻值大， $VT_1$  管源极直流电压升高，如果不增大直流工作电压  $+U$ ，使  $VT_1$  管漏极与源极之间有效直流工作电压下降，所以这种偏压电路一般不用于直流工作电压  $+U$  较低的场合。

这种偏压电路还有一个缺点，降低了放大器的输入阻抗。图 11-74 所示是这种偏置电路的等效电路。

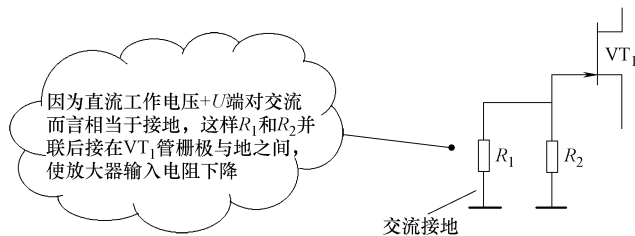


图 11-74 N 沟道结型场效应晶体管混合偏置电路等效电路

### 5. 场效应晶体管改进型混合偏置电路

图 11-75 所示是 N 沟道结型场效应晶体管改进型混合偏压电路。这一偏压电路的工作原理与前面一种电路基本相同，通过  $R_1$  和  $R_2$  分压后经  $R_3$  加到  $VT_1$  管栅极，虽然  $VT_1$  栅极的直流电压为正，但是  $R_3$  上的电压降使  $VT_1$  管源极直流电压更高，所以  $VT_1$  管栅极仍然是负电压。

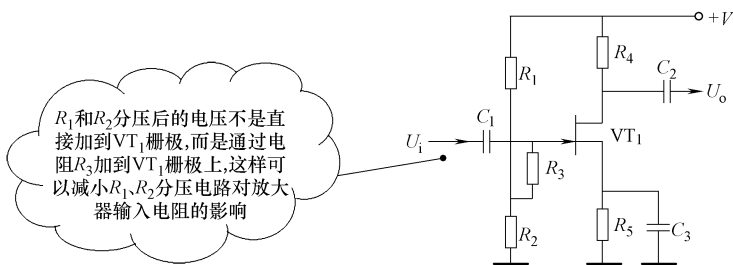


图 11-75 N 沟道结型场效应晶体管改进型混合偏压电路

6. 场效应晶体管栅极偏置特性

场效应晶体管同晶体管一样，用于放大信号时要给予它适当的偏置电压，即给栅极一个直流偏置电压。这一电压是加到栅极与源极之间的。



重要提示

对结型场效应晶体管而言，栅极与源极之间应加反向偏置电压。对于绝缘栅场效应晶体管而言，视是增强型还是耗尽型而有所不同：对增强型管而言，栅极与源极之间应采用正向偏置；对耗尽型管而言，栅极与源极之间可加正向、零、反向偏置。

表 11-1 所示是几种常见类型场效应晶体管偏置电压说明。

表 11-1 几种常见类型场效应晶体管偏置电压说明

| 场效应晶体管类型         | 栅极电压( $U_{GS}$ )极性      | 漏极电压( $U_{DS}$ )极性 |
|------------------|-------------------------|--------------------|
| N 沟道结型场效应晶体管     | 负极性,栅极电压低于源极电压          | 正极性,漏极电压高于源极电压     |
| P 沟道结型场效应晶体管     | 正极性,栅极电压高于源极电压          | 负极性,漏极电压低于源极电压     |
| P 沟道增强型绝缘栅场效应晶体管 | 负极性,栅极电压低于源极电压          | 负极性,漏极电压低于源极电压     |
| N 沟道增强型绝缘栅场效应晶体管 | 正极性,栅极电压高于源极电压          | 正极性,漏极电压高于源极电压     |
| N 沟道耗尽型绝缘栅场效应晶体管 | 正、零、负,栅极电压可高于、等于和低于源极电压 | 正极性,漏极电压高于源极电压     |

★11.4.2 图解电子管放大器直流电路

电子管在工作时需要直流工作电压，真空三极管的三个电极都需要直流工作电压，这一点同晶体管放大器中的直流电路一样。

1. 电子管直流电路组成

如图 11-76 所示是真空三极管放大器的直流电路。

真空三极管直流电路主要由下列 3 部分组成：

- 1) 屏极直流电路。它为真空三极管屏极提供直流工作电压，在屏极与直流工作电压 +  $U$  端之间接有一只屏极负载电阻。
- 2) 阴极直流电路。它为真空三极管阴极提供直流电流回路，并且提高真空三极管阴极的直流电压，为栅极偏置电路提供必要的条件。阴极电路中通常接有一只阴极电阻，在阴极电阻上并联一只阴极旁路电容。
- 3) 栅极直流电路。它为真空三极管栅极提供直流电压，栅极偏置电路变化比较多，不同的偏置电路有不同的电路特征，栅极直流电路中主要元件是电阻器。

电子管直流电路与晶体管直流电路有所不同，主要说明下列几点：

- 1) 电子管的屏极直流工作电压相当高，一般在 200V 以上。

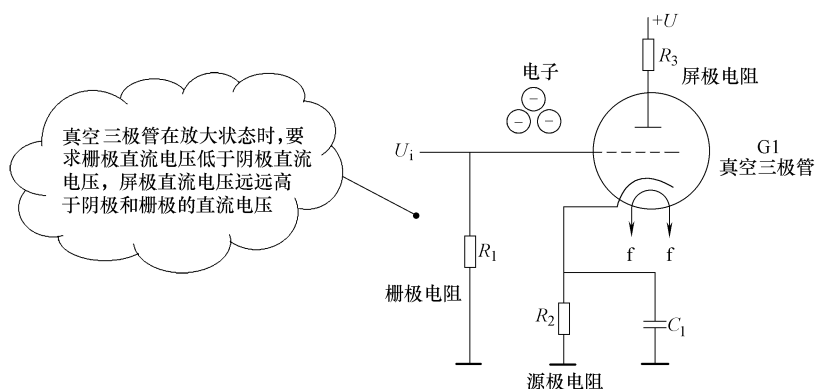


图 11-76 真空三极管放大器的直流电路

2) 栅极直流电路中没有直流电流。

## 2. 电子三极管屏极负载电阻

屏极负载电阻  $R_3$  接在直流工作电压  $+U$  与 G1 屏极之间, 当屏极电流流过  $R_3$  时, 在  $R_3$  上有电压降, 通过屏极负载电阻  $R_3$  可以将屏极电流的变化转换成屏极电压的变化。屏极负载电阻相当于晶体管电路中的集电极负载电阻。

给 G1 栅极加上交流电压时, 屏极电流的大小会随栅极交流电压大小变化规律而变化, 通过屏极负载电阻  $R_3$  将屏极的交流电流变化转换成屏极的交流电压的变化, 以信号电压的形式传输到下一级放大器中。

## 3. 电子三极管栅极电阻

栅极电阻  $R_1$  有 3 个作用:

1)  $R_1$  为栅极提供直流电压, G1 栅极通过  $R_1$  接地。而 G1 阴极电压大于 0V (将在后面介绍), 这样栅极相对于阴极而言电压为负, 达到电子管在放大时栅极为负电压的要求。

2) 在电子管内部, 阴极电子向屏极运动过程中会有少量的电子落在栅极上, 电子是负电荷, 栅极上的电子使栅极电压为负, 如果有太多的电子落在栅极上, 使栅极电压太低而影响晶体管正常放大工作。在加入  $R_1$  后, 栅极上的电子通过  $R_1$  流到地, 为电子提供了泄放通路, 所以  $R_1$  又称为栅漏电阻。

3)  $R_1$  也是前级电路的负载电阻, 信号电压加到这一负载电阻上, 前级电路输出的交流信号是 G1 的输入信号。

## 4. 电子三极管阴极电阻

阴极电阻  $R_2$  接在 G1 的阴极与地之间, 电容  $C_1$  并联在  $R_2$  上, 这两个元件构成自偏压电路, 用来产生栅极的负电压。

自偏压电路原理是: 阴极电流的方向是从 G1 管阴极流出, 经过  $R_2$  到地, 这样在  $R_2$  上有电压降, 使 G1 阴极电压高于地。从阴极流出的电流有直流电流和交流信号电流, 对于交流信号电流而言, 由于  $C_1$  的旁路作用, 交流信号电流流过  $C_1$  到地, 而不流过阴极电阻  $R_2$ 。这样, 只有阴极流出的直流电流流过  $R_2$ , 所以在 G1 阴极上只有直流电压。

G1 栅极通过电阻  $R_1$  接地, 由于流过  $R_1$  的电流很小, 使 G1 栅极电压等于地电压, 为 0V, 而 G1 阴极电压高于地电压, 这样 G1 栅极电压低于阴极电压, 给 G1 管栅极建立了负电压,

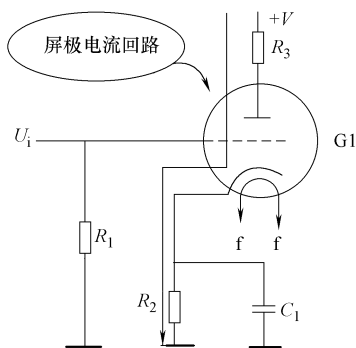


图 11-77 屏极电流回路示意图

晶体管 G1 处于放大状态。

如果去掉电路中的阴极旁路电容  $C_1$ ，那么阴极电阻  $R_2$  对交流信号存在电流串联负反馈作用，这一点与晶体管放大器中的发射极负反馈电路相同。

### 5. 电子三极管屏极电流方向

如图 11-77 所示是屏极电流回路示意图，在电路中，G1 管屏极电流流动的方向：直流工作电压  $+U \rightarrow$  屏极负载电阻  $R_3 \rightarrow$  G1 管屏极  $\rightarrow$  G1 管阴极  $\rightarrow$  阴极电阻  $R_2 \rightarrow$  地。

## 11.5 图解晶体管共发射极放大器

本节阅读建议：精细阅读，全面掌握晶体管共发射极放大器电路工作原理。本节所需要的基础知识主要是晶体管特性、电阻电路等。

本节难度系数：5 级。

本节记忆系数：9 级。

如图 11-78 所示是共发射极放大器， $VT_1$  是放大管， $U_i$  是需要放大的输入信号， $U_o$  是经过该单级放大器放大后的输出信号。

### ★11.5.1 直流和交流电路分析

#### 1. 直流电路分析

在掌握前面讲述的晶体管直流电路工作原理之后，分析这一单管放大器直流电路是相当方便和容易的。

这一单级放大器的直流电路是： $+V$  是直流工作电压， $VT_1$  集电极通过  $R_2$  得到直流工作电压， $R_1$  是  $VT_1$  基极偏置电阻， $VT_1$  发射极直接接地，这样  $VT_1$  建立了放大状态所需要的直流电路。



#### 重要提示

电路分析中，如果已经掌握和理解了偏置电阻的作用，那么在电路分析中只要认出哪只电阻是偏置电阻就可以了，不必再对偏置电阻的具体工作原理进行分析。例如，知道了电路中的  $R_1$  是  $VT_1$  偏置电阻即可。

#### 2. 共发射极放大器信号传输过程

如图 11-79 所示是这级共发射极放大器信号传输过程示意图，晶体管  $VT_1$  是这一电路的中心元器件， $R_1$  是偏置电阻， $R_2$  是集电极负载电阻， $C_1$  和  $C_2$  分别是输入端和输出端耦合电容。输入信号  $U_i$  从  $VT_1$  基极和发射极之间输入，输出信号  $U_o$  取自于集电极和发射极之间。

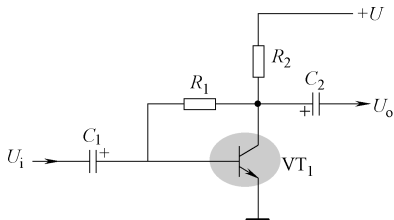


图 11-78 共发射极放大器

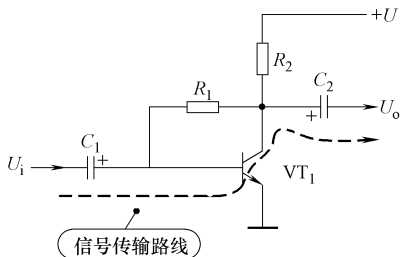


图 11-79 共发射极放大器信号传输过程示意图

输入信号  $U_i$  由晶体管  $VT_1$  放大为输出信号  $U_o$ ，信号在这一放大器中的传输路线为：输入信号  $U_i \rightarrow$  输入端耦合电容  $C_1 \rightarrow VT_1$  基极  $\rightarrow VT_1$  集电极  $\rightarrow$  输出端耦合电容  $C_2 \rightarrow$  输出信号  $U_o$ 。





### 3. 信号放大和处理过程

1) 输入端耦合电容  $C_1$ 。它起耦合信号的作用, 即对信号进行无损耗的传输, 对信号无放大无衰减。它在放大器输入端, 所以称为输入端耦合电容, 放大器中需要许多这样的输入端耦合电容。

2) 放大管  $VT_1$ 。对输入信号具有放大作用。加到  $VT_1$  基极的输入信号电压引起基极电流变化, 基极电流被放大  $\beta$  倍后作为集电极电流输出, 所以信号以电流形式得到了放大。

3) 输出端耦合电容  $C_2$ 。它起耦合信号的作用, 因为在放大器的输出端, 所以称为输出端耦合电容, 放大器电路中需要许多这样的输出端耦合电容。

### ★11.5.2 共发射极放大器中元器件作用分析

掌握了单级共发射极放大器中的各元器件作用后, 可以轻松地分析其他类型的放大器电路, 了解其各元器件作用和工作原理。

#### 1. 集电极负载电阻作用分析

如图 11-80 所示是集电极负载电阻电路。 $R_1$  是  $VT_1$  的集电极负载电阻, 它有两个具体作用:

- 1) 为晶体管提供集电极直流工作电压和集电极电流。
- 2) 将晶体管集电极电流的变化转换成集电极电压的变化。

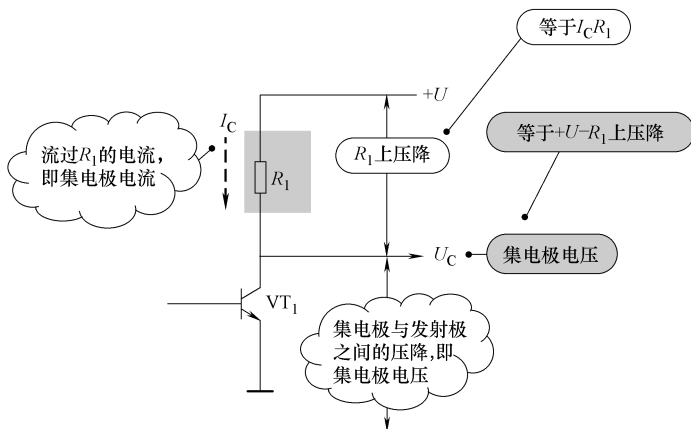


图 11-80 集电极负载电阻电路

集电极电压  $U_c$  等于直流电压  $+U$  减去  $R_1$  上压降。当集电极电流  $I_c$  变化时, 集电极负载电阻  $R_1$  上的压降也变化, 由于  $+U$  不变, 所以集电极电压  $U_c$  相应变化, 可见通过集电极负载电阻能将集电极电流的变化转换成集电极电压的变化。

#### 2. 输出端耦合电容作用分析

如图 11-81 所示是输出端耦合电容作用示意图。 $VT_1$  集电极上电压是交流叠加在直流上的复合电压, 由于  $C_1$  隔直通交作用, 将集电极上直流电压隔离, 通过  $C_1$  后只有交流电压, 其电压幅度与  $VT_1$  集电极上的交流电压幅度相等。

输出端耦合电容容量大, 对交流信号容抗近似为零, 所以电路分析中认为耦合

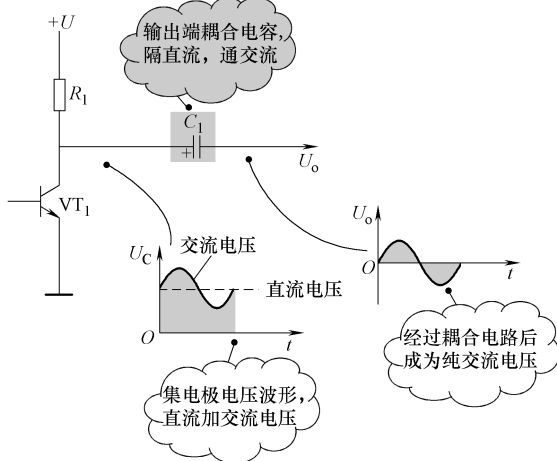


图 11-81 输出端耦合电容作用示意图

电容对信号传输无损耗。

### 3. 输入端耦合电容作用分析

如图 11-82 所示是输入端耦合电容作用示意图,  $C_1$  是输入端耦合电容。

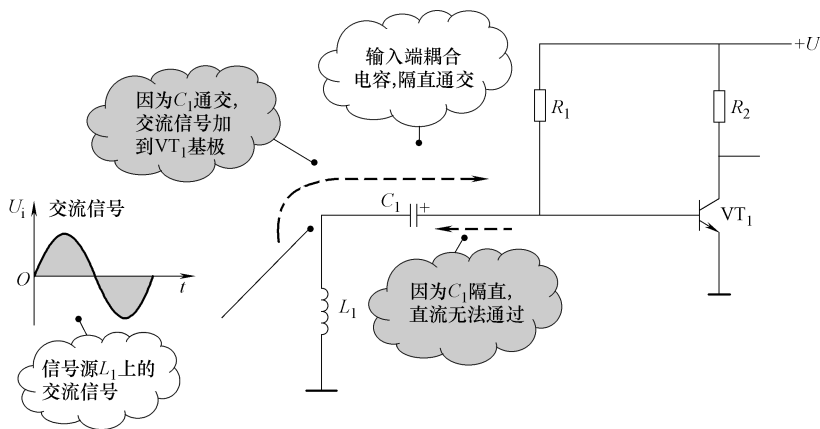


图 11-82 输入端耦合电容作用示意图

如果没有  $C_1$  的隔直作用 (相当于  $C_1$  两引脚接通),  $VT_1$  基极上的直流电压会被  $L_1$  短路到地。

如果没有  $C_1$  的通交作用 (相当于  $C_1$  两根引脚断开), 信号源  $L_1$  上信号无法加到  $VT_1$  基极。

从图中可以看出, 加到  $VT_1$  管基极的交流输入信号电压与  $R_1$  提供的直流电压叠加, 一起送入  $VT_1$  管基极, 交流输入信号是“骑”在直流电压上的, 如图 11-83 所示。

### 4. 耦合电容对交流信号影响

如图 11-84 所示是输入端耦合电容对交流信号影响示意图, 输出端耦合电容也一样。

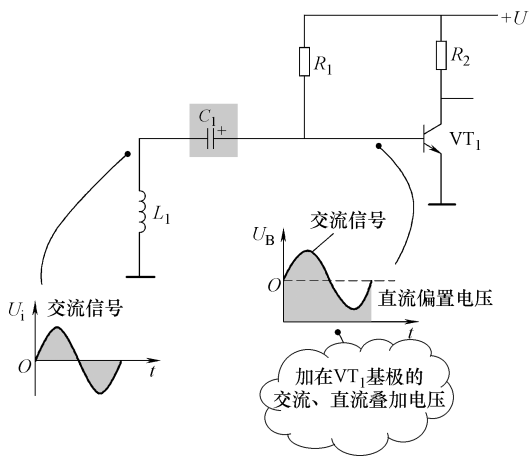


图 11-83  $VT_1$  基极直流和交流信号叠加示意图

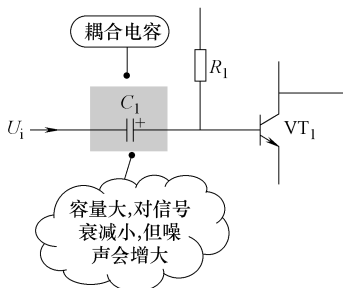


图 11-84 输入端耦合电容对交流信号的影响示意图

输入端和输出端耦合电容对交流信号的影响是多方面的, 有时还是相互矛盾的, 例如耦合电容的容量增大了, 对低频信号有益, 但是增大了电路的噪声。

1) 对信号幅度影响。耦合电容的容量大, 则容抗小, 对信号幅度衰减小, 反之则大。放大器工作频率低, 则要求的耦合电容容量大, 因为频率低, 电容的容抗大, 加大容量才能降低容抗。音频放大器中耦合电容的容量比高频放大器中的大, 因为音频信号频率低, 高频信号频率高。

2) 对噪声影响。耦合电容串联在信号传输回路中, 它产生的噪声直接影响放大器的噪声, 特



别是前级放大器中的耦合电容；输入端耦合电容比输出端耦合电容的影响更大，因为耦合电容产生的噪声被后级放大器所放大。由于耦合电容的容量越大，其噪声越大，所以在满足了足够小容抗的前提下，耦合电容容量要尽可能的小。

3) 对各频率信号的影响。放大器工作频率有一定范围，耦合电容主要对低频率信号幅度衰减有影响，因为频率低，它的容抗大，所以选择耦合电容时其容量要使它对其低频率信号的容抗足够小。

### 5. 基极偏置电阻 $R_1$ 作用分析

基极偏置电阻  $R_1$  构成  $VT_1$  固定式偏置电路， $R_1$  的阻值大小决定了  $VT_1$  静态偏置电流的大小，而静态偏置电流的大小就决定了晶体管对信号的放大状态，根据  $R_1$  阻值大小不同共有下列三种情况。

1) 基极偏置电阻  $R_1$  阻值恰当。基极偏置电阻  $R_1$  阻值恰当时， $VT_1$  基极电流（电压）、集电极电流（电压）恰当，交流信号叠加在直流上的位置恰当，交流电压不失真，如图 11-85 所示。

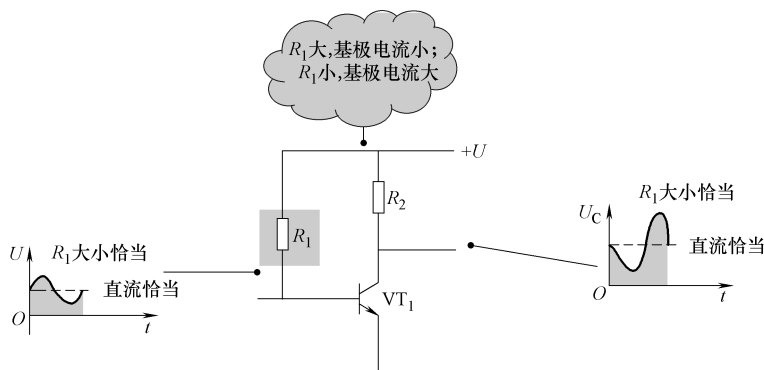


图 11-85 示意图

2)  $R_1$  阻值偏小。当  $R_1$  阻值偏小时， $VT_1$  基极电流偏大，输入信号的正半周顶部容易进入晶体管的饱和区，造成削顶失真，如图 11-86 所示。

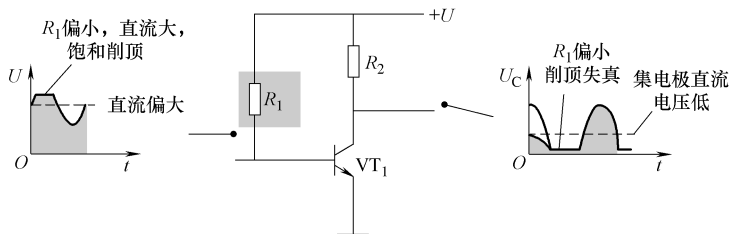


图 11-86 示意图

3)  $R_1$  阻值偏大。当  $R_1$  阻值偏大时， $VT_1$  基极电流偏小，输入信号的负半周顶部容易进入晶体管的截止区，造成削顶失真，如图 11-87 所示。

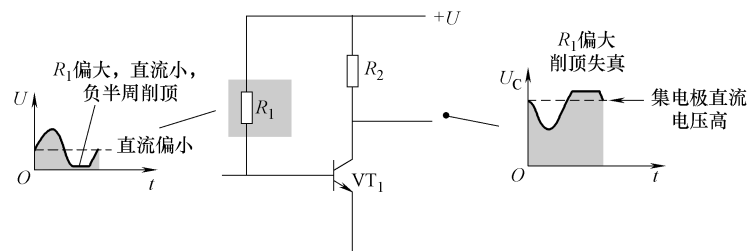


图 11-87 示意图

## 6. 晶体管 $VT_1$ 作用分析

在放大器电路中,晶体管是核心元器件,放大作用主要靠晶体管。

1) 放大作用的实质。在放大器中,输出信号比输入信号大,也就是说输出信号能量比输入信号能量大,而晶体管本身是不能增加信号能量的,它只是将电源的能量转换成输出信号的能量。

如图 11-88 所示可以说明晶体管放大信号的实质。晶体管是一个电流转换器件,它按照输入信号的变化规律将电源的电流转换成输出信号的能量,整个信号放大过程中都是由电源提供能量的。

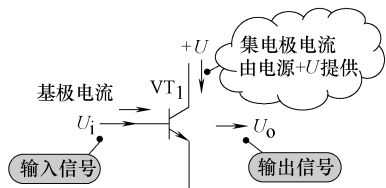


图 11-88 晶体管放大信号示意图

2) 直流条件作用。晶体管有一个特性:集电极电流大小由基极电流大小控制。晶体管基极电流大小的变化规律是受输入信号控制的,晶体管集电极电流由直流电源提供,这样,按输入信号变化规律而变化的输出信号能量比输入信号大,这就是放大。

有一个输入信号电流,就有一个相应的晶体管基极电流,就有一个相应的由电源提供的更大的集电极信号电流。

有一个基极电流就有一个相对应的更大的集电极电流,晶体管的这一特性必须由直流电压来保证,没有正常的直流条件,晶体管就不能实现这一特性。

3) 放大器中的问题。晶体管放大器放大信号的过程中会出现一些问题,这些问题通过精心的电路设计可以得到不同程度的解决:如降低噪声、减小非线性失真和相位失真、抗干扰等。

## ★11.5.3 共发射极放大器主要特性

### 重要提示

放大器对信号的放大有下列几种情况:

- 1) 只放大信号电压,不放大信号电流。
- 2) 只放大信号电流,不放大信号电压。
- 3) 同时放大信号电压和信号电流。

三种类型放大器对信号放大的情况是不同的,只有共发射极放大器能够同时放大信号的电流和电压。

### 1. 共发射极放大器具有信号电流和电压放大能力

1) 电流放大能力。输入信号电流是输入晶体管基极的信号电流,输出信号电流是晶体管的集电极信号电流。

共发射极放大器能够放大信号电流可以这样理解:因为输入晶体管的基极电流是很小的,只要有很小的基极电流变化,就会引起很大的(比基极电流大  $\beta$  倍)集电极电流变化,因此共发射极放大器具有信号电流放大的能力。

2) 电压放大能力。共发射极放大器中,输入信号电压是加在晶体管基极上的信号电压,输出信号电压是晶体管集电极上的信号电压。

这种放大器具有信号电压放大能力可以这样理解:加到晶体管基极上的输入信号电压,通过晶体管的输入回路会引起基极电流的相应变化,基极电流经放大后成为集电极电流,集电极电流流过集电极负载电阻转换成集电极电压,由于集电极电流比基极电流大得多,集电极负载电阻也比较大,这样集电极上输出信号电压比基极上的输入信号电压大得多,完成了信号电压的放大。

共发射极放大器对信号电压的放大能力还可以通过下列共发射极放大器电压放大倍数计算公式来说明:

$$A_v = \frac{U_o}{U_i} = \beta \times \frac{R_c}{r_{be}}$$



式中,  $A_v$  为共发射极放大器电压放大倍数;  $R_C$  为晶体管集电极负载电阻阻值;  $\beta$  为晶体管共发射极交流电流放大倍数;  $r_{be}$  为晶体管输入电阻。

由于  $\beta$  和  $R_C$  远大于 1, 且  $R_C$  大于  $r_{be}$ , 所以  $A_v$  是大于 1 的, 说明共发射极放大器有信号电压放大能力。

## 2. 发射极放大器输出信号电压相位与输入信号电压相位相反特性

共发射极放大器具有电压放大作用, 同时输出信号电压与输入信号电压反相, 这一特性要牢记, 在分析振荡器和负反馈放大器时需要这一特性。

如图 11-89 所示是共发射极放大器输出信号电压与输入信号电压反相特性示意图。当基极电压增大时, 集电极电压在减小。当基极信号电压为正半周时, 集电极信号电压为负半周。

必须掌握共发射极放大器输出信号电压与输入信号电压反相这一特性, 对这一特性的理解方法为: 基极电压增大时, 导致基极电流增大, 集电极电流增大, 在集电极负载电阻上的电压降增大, 使集电极电压下降。

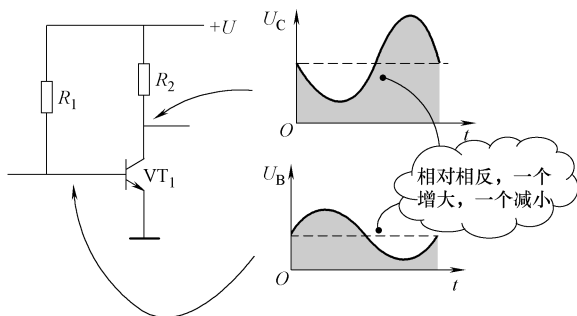


图 11-89 共发射极放大器输出信号电压与输入信号电压反相特性示意图

## 3. 共发射极放大器输出电阻大小一般

在三种放大器中, 共发射极放大器的输出电阻值不是最大, 也不是最小。放大器输出电阻概念与晶体管输出电阻概念不同。

1) 晶体管输出电阻。晶体管的输出电阻是从晶体管输出端向晶体管内部看时的等效电阻, 如图 11-90 所示, 这时没有任何的晶体管直流偏置电阻。

晶体管输出电阻是很大的, 一般大于几百千欧。

2) 放大器输出电阻。放大器输出电阻是从放大器输出端向放大器内部看时的等效电阻, 如图 11-91 所示, 放大器输出电阻等于晶体管的输出电阻与晶体管集电极负载电阻的并联值, 由于晶体管的输出电阻远大于集电极负载电阻, 所以放大器的输出电阻就约等于晶体管的集电极负载电阻。

## 4. 共发射极放大器输入电阻大小一般

在三种放大器中, 共发射极放大器的输入电阻不是最大也不是最小。

1) 晶体管输入电阻。晶体管输入电阻是没有直流偏置电阻情况下, 从晶体管输入端向里看的电阻, 如图 11-92 所示。

2) 晶体管输出电阻。放大器输入电阻是加入直流偏置电路后, 从放大器输入端向里看的电阻, 如图 11-93 所示。

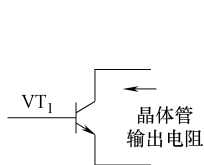


图 11-90 晶体管输出电阻示意图

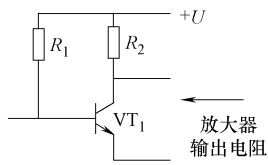


图 11-91 放大器输出电阻示意图

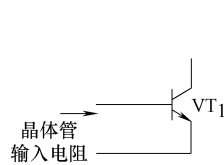


图 11-92 晶体管输入电阻示意图

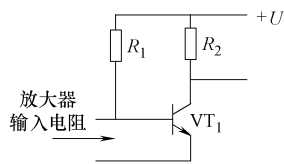


图 11-93 晶体管输出电阻示意图

## 11.6 图解晶体管共集电极放大器

本节阅读建议：精心阅读，全面掌握晶体管共发射极放大器电路工作原理。本节所需要的基础知识主要是晶体管特性、电阻电路等。

本节难度系数：5 级。在掌握了晶体管共集电极放大器电路工作原理后，阅读难度大幅下降。

本节记忆系数：9 级。

共集电极放大器是另一种十分常见的晶体管放大器，如图 11-94 所示是单级共集电极放大器。

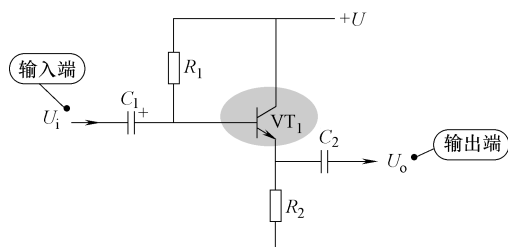


图 11-94 单级共集电极放大器

### ★11.6.1 共集电极单级放大器电路特征和直流电路分析

#### 1. 共集电极单级放大器电路特征

观察共集电极放大器的电路结构，与前面介绍的共发射极放大器相比较，存在三点明显不同之处。

1) 无集电极负载电阻。晶体管  $VT_1$  集电极直接与直流电压  $+U$  相连，没有共发射极放大器中的集电极负载电阻。

2) 输出信号取自发射极。放大器输出信号取自晶体管  $VT_1$  发射极，而不是像共发射极放大器中那样取自  $VT_1$  集电极。

3) 发射极上不能接有旁路电容。否则发射极输出的交流信号将被发射极电容旁路到地。

#### 2. 共集电极单级放大器直流电路

这一放大器的直流电路比较简单。 $R_1$  构成  $VT_1$  固定式偏置电路，为  $VT_1$  提供静态工作电流， $VT_1$  可以进入放大工作状态。

$VT_1$  集电极直接与直流电压  $+U$  相连，发射极通过发射极电阻  $R_2$  接地。

### ★11.6.2 共集电极放大器交流电路和发射极电阻分析

#### 1. 共集电极放大器交流电路分析

这一电路的信号传输过程分析是：如图 11-95 所示，输入信号  $U_i$ （所需要放大的信号）→输入端耦合电容  $C_1$ （隔直通交，对信号无放大也无衰减）→ $VT_1$  基极→ $VT_1$  发射极（对信号进行了电流放大）→输出端耦合电容  $C_2$ （隔直通交，对信号无放大也无衰减）→输出端信号  $U_o$ 。

发射极电阻分析是：为  $VT_1$  提供直流电流回路；将发射极电流的变化转换成发射极电压的变化；具有负反馈作用。

#### 2. 发射极电阻将电流变化转换成电压变化原理

如图 11-96 所示是晶体管发射极电阻将发射极电流变化转换成发射极电压变化的示意图。

$VT_1$  发射极电压等于发射极电流与发射极电阻之积，当流过发射极电阻的电流大小变化时，发射极电压大小也随之变化。

电路中的晶体管  $VT_1$  为 NPN 型，发射极电压跟随基极电压变化的过程分析和理解分成下几步。

1) 基极电压增大。当  $VT_1$  基极电压增大时，引起基极电流增大。理由：NPN 型晶体管具有基极电压增大则基极电流增大的特性。

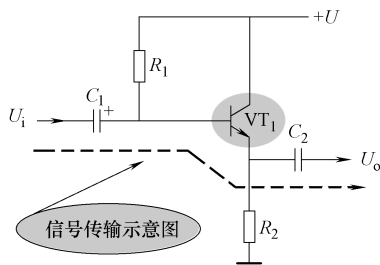


图 11-95 信号传输示意图



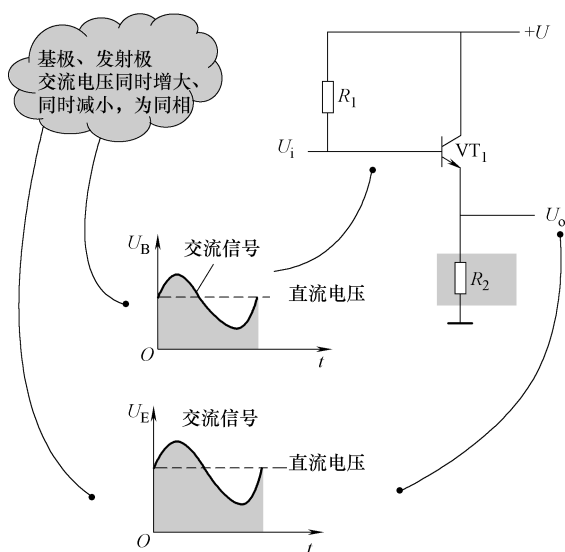


图 11-96 晶体管发射极电阻将发射极电流变化转换成发射极电压变化的示意图

2) 基极电流增大。基极电流增大则发射极电流增大。理由：晶体管三个电极之间的电流关系特性。

3) 发射极电流增大。发射极电流增大则发射极电压增大。理由：发射极电压等于发射极电流乘发射极电阻。



#### 重要结论

发射极电压与基极电压同时增大，或同时减小，说明发射极电压与基极电压同相，这是共集电极放大器的一个重要特性。

### ★11.6.3 共集电极放大器主要特性

#### 1. 共集电极放大器放大电流而无电压放大能力的特性

共集电极放大器只有电流放大能力，没有电压放大能力。



#### 具有电流放大能力的理解方法

共集电极放大器的输入信号电流是晶体管基极电流，而输出信号电流是发射极电流，由于发射极电流远大于基极电流，即发射极电流  $I_e$  等于  $(1+\beta)I_b$  ( $I_b$  是基极电流)，所以共集电极放大器具有电流放大能力，即电流放大倍数大于 1。



#### 没有电压放大能力的理解方法

在共集电极放大器电路中，输入信号电压是基极上的电压，而输出信号电压是发射极上的电压，对于 NPN 型晶体管而言，发射极上电压总是比基极上电压低 0.6V 左右（硅管），这样， $VT_1$  发射极电压低于基极电压，所以电压放大倍数小于 1 而非常接近于 1，这说明共集电极放大器只有电流放大而没有电压放大能力。

#### 2. 共集电极放大器输出信号电压与输入信号电压同相位特性

在共集电极放大器中，输出信号电压相位与输入信号电压相位相同，即输入信号电压在增大时，输出信号电压也在增大，输入信号电压在减小时，输出信号电压也在减小。

 相位特性理解方法

当输入信号电压在增大时,即基极上信号电压增大,使  $VT_1$  基极电流增大,发射极电流也随之增大,流过发射极电阻  $R_2$  的电流增大,在电阻  $R_2$  上的电压降增大,即发射极上输出信号电压在增大。

由此可知,基极信号电压增大时,发射极上的信号电压也在增大,所以它们是同相位的。

如果  $VT_1$  基极上信号电压在减小,使  $VT_1$  基极电流减小,发射极电流也随之减小,流过发射极电阻  $R_2$  的电流相应地减小,在电阻  $R_2$  上的电压降减小,即发射极输出信号电压在减小。所以它们是同相位的。

另一种理解方法是:当晶体管  $VT_1$  发射结(基极与发射极之间的 PN 结)正向导通之后,在这一 PN 结上的电压降基本不变,在一定范围内基极电压增大时,发射极电压也增大,基极电压减小时,发射极电压也减小,这说明共集电极放大器的输出信号电压与输入信号电压相位相同。

共集电极放大器的这种特性称为发射极电压跟随特性,即发射极电压跟随基极电压的变化而变化,所以共集电极放大器电路又称为射极跟随器。又由于共集电极放大器的输出信号是从晶体管发射极上取出的,所以它还有一个名称是射极输出器。

射极跟随器、射极输出器都是指共集电极放大器。

### 3. 共集电极放大器输出阻抗小和输入阻抗大特性

1) 共集电极放大器输出阻抗小。共集电极放大器的输出阻抗比较小,这也是这种放大器的一个优点。

在多级放大器电路系统中,前一级放大器是后一级放大器的信号源电路,放大器的输出阻抗就是信号源电路的内阻,信号源的内阻小,说明可以输出更大的信号电流,显然内阻小是有益的。共集电极放大器输出阻抗小、带负载能力强,所以能够为后级电路输出足够大的信号电流。

这里可以举一个日常生活中常见的例子说明信号源内阻对输出电流的影响:一节旧电池,若用万用表测量它的电压,会有 1.2V 左右,但它不能使小电珠发光,这是因为旧电池内阻已经很大,旧电池能够输出的电流很小。而新电池内阻很小,可以输出足够大的电流给负载。

利用共集电极放大器输出阻抗小的特点,在多级放大器系统中时常将最后一级放大器采用共集电极放大器,这样,多级放大器系统能够输出更大的电流给负载。

利用共集电极放大器输入阻抗大、输出阻抗小的特点,在多级放大器系统中时常将中间的某一级放大器采用共集电极放大器,这样,这一级放大器将前级和后级的放大器进行隔离,以防止多级放大器电路系统中级和级之间的相互有害影响,这样的共集电极电路又称为缓冲级放大器或隔离级放大器。

2) 共集电极放大器输入阻抗大。共集电极放大器的输入阻抗比较大,这是这种放大器的一个优点。

放大器的输入阻抗是前一级放大器或信号源电路的负载,当负载阻抗大时(就是放大器的输入阻抗大),要求前级放大器输出的信号电流就小,这样前级放大器的负载就轻。换言之,当放大器输入阻抗比较大时,只要有比较小的前级输入信号电流,放大器就能够正常地工作。

利用共集电极放大器输入阻抗大的特点,在多级放大器系统中第一级放大器时常采用共集电极放大器,这样,输入级放大器的输入阻抗比较大,信号源电路的负载就轻,使多级放大器与信号源电路之间的相互影响比较小。

 共集电极放大器电路分析小结

1) 共集电极放大器的电路分析方法与共发射极放大器电路相同。

2) 前面介绍了采用正极性直流电压供电的 NPN 型晶体管构成的共集电极放大器,对于采用负极性直流工作电压供电的 NPN 型晶体管共集电极放大器,以及采用 PNP 型晶体管构成的共集电极



放大器，其电路工作原理、电路分析步骤、分析方法等都是相同的。

3) 共集电极放大器虽然只有电流放大作用，没有电压放大作用，但对输入信号是存在放大作用的，因为信号能量的大小可以用功率来表示，而功率等于电流与电压之积，不放大信号电压只放大信号电流也能放大信号功率，在功率放大器中就是采用共集电极放大器进行信号电流的放大的。

4) 共集电极放大器具有输入电阻大、输出电阻小的特点，所以这种放大器电路常用在多级放大器电路的输入级或输出级，以及用来作缓冲级、隔离级。共集电极放大器的应用量仅次于共发射极放大器。

## 11.7 图解共基极放大器

本节阅读建议：重点阅读，全面掌握晶体管共基极放大器电路工作原理。本节所需要的基础知识主要是晶体管特性、电阻电路等。

本节难度系数：7级。在掌握了晶体管共集电极放大器电路工作原理后，阅读难度大幅下降。

本节记忆系数：8级。

如图 11-97 所示是共基极放大器。共基极放大器电路图中的晶体管习惯性地画成图中所示，基极朝下。由于共基极放大器电路图中的晶体管采用这种画法，不符合习惯画法，给直流电路和交流电路分析带来了不便。

### ★11.7.1 共基极放大器直流电路

电路中，由于  $VT_1$  是 NPN 型晶体管，当它工作在放大状态时，集电极直流电压为最高，其次为基极电压，发射极电压最低。

#### 1. 集电极回路分析

如图 11-98 所示，共基极放大器中也有集电极负载电阻  $R_3$ ，它将直流电压  $+U$  加到  $VT_1$  集电极，同时将集电极电流的变化转换成集电极电压的变化。

集电极直流电流回路是：直流工作电压  $+U \rightarrow$  集电极负载电阻  $R_3 \rightarrow VT_1$  集电极，流入晶体管内部。

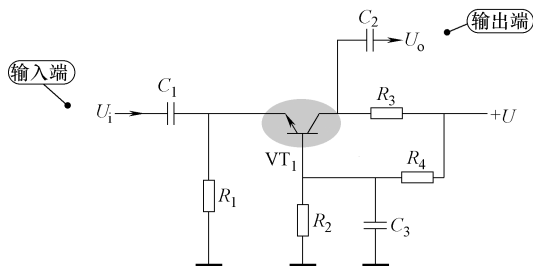


图 11-97 共基极放大器

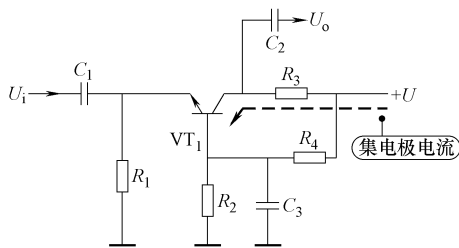


图 11-98 示意图

#### 2. 发射极回路分析

如图 11-99 所示， $R_1$  是  $VT_1$  发射极电阻，构成发射极直流电流回路。发射极电流回路是： $VT_1$  发射极  $\rightarrow$  发射极电阻  $R_1 \rightarrow$  地端。

#### 3. 基极偏置电路分析

如图 11-100 所示，电阻  $R_4$  和  $R_2$  构成  $VT_1$  典型的分压式偏置电路，其分压后的输出电压加到  $VT_1$  基极，为  $VT_1$  提供基极偏置电压。基极电流回路是：直流工作电压  $+U \rightarrow$  电阻  $R_4 \rightarrow VT_1$  基极，流入晶体管内部。

电路中的  $R_4$  和  $R_2$  分压电路与前面介绍的分压式偏置电路完全一样, 只是分压电路的画法不同。如图 11-101 所示是分压电路特征和识别方法示意图, 从图中可以看出, 是一种电路两种画法。

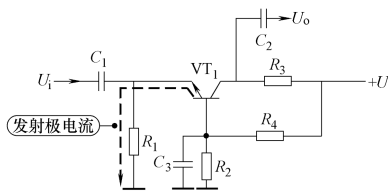


图 11-99 示意图

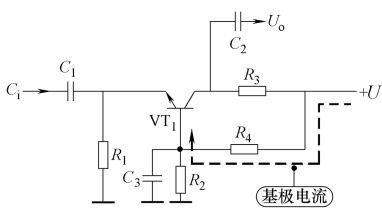


图 11-100 示意图

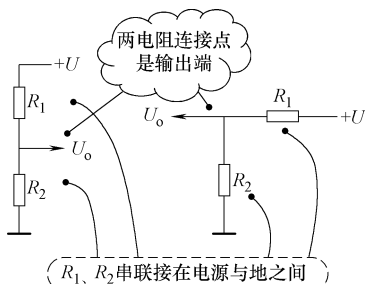


图 11-101 分压电路特征和识别方法示意图

## ★11.7.2 共基极放大器交流电路及元器件作用分析

### 1. 共基极单级放大器的交流电路工作原理分析

如图 11-100 所示, 交流输入信号  $U_i$  经输入端耦合电容  $C_1$  加到  $VT_1$  发射极上, 输入信号的正、负半周的电压变化将引起发射极电压的变化。由于  $VT_1$  基极电压不变 ( $VT_1$  基极交流电压为零, 因为电容  $C_3$  将  $VT_1$  基极交流接地), 当  $VT_1$  发射极上交流电压的大小变化时, 将引起  $VT_1$  基极电流大小的变化。

1)  $VT_1$  发射极电压减小时。使  $VT_1$  发射结 (发射极与基极之间的 PN 结) 正向偏置电压增大, (因为  $VT_1$  是 NPN 型晶体管),  $VT_1$  基极电流增大。

2)  $VT_1$  发射极电压增大时。使  $VT_1$  发射结正向偏置电压减小,  $VT_1$  基极电流减小。这样, 加到  $VT_1$  发射极上的交流输入电压变化时, 将引起  $VT_1$  基极电流的相应变化, 这说明输入信号  $U_i$  加到了晶体管  $VT_1$  中。

在共基极放大器电路中, 输入信号电压  $U_i$  与基极电流、发射极电流之间是反相的关系, 即  $U_i$  增大时, 基极电流和发射极电流在减小。

由于  $VT_1$  发射极上的输入信号电压引起了晶体管  $VT_1$  基极电流和发射极电流的相应变化, 便有相应的集电极电流的变化。

集电极电流流过集电极负载电阻  $R_3$ ,  $R_3$  将集电极电流的变化转换成  $VT_1$  集电极电压的相应变化, 这就是共基极放大器输出的信号。

这一集电极交流输出信号电压  $U_o$  通过输出端耦合电容  $C_2$  的隔直作用, 加到后级放大器中, 完成了交流输入信号  $U_i$  在这一级共基极放大器中的放大和传输。

这一放大器电路中信号传输的过程是: 输入信号  $U_i \rightarrow$  输入端耦合电容  $C_1 \rightarrow VT_1$  发射极  $\rightarrow VT_1$  集电极  $\rightarrow$  输出端耦合电容  $C_2 \rightarrow$  输出信号  $U_o$ 。

### 2. 电路中元器件作用分析

1) 基极旁路电容  $C_3$ 。基极旁路电容  $C_3$  将  $VT_1$  基极交流接地, 即将  $VT_1$  基极上的交流信号旁路到地线, 使  $VT_1$  基极上的交流信号电压为零。

2) 发射极电阻  $R_1$ 。发射极电阻  $R_1$  的作用有两个: 电阻  $R_1$  构成  $VT_1$  发射极的直流电流回路, 因为这一电阻对交流输入信号有一定的分流作用, 所以通常取值比较大; 电阻  $R_1$  将基极和发射极的交流电路隔开, 因为  $VT_1$  基极是交流接地的, 如若  $VT_1$  发射极也直接接地,  $VT_1$  发射极和基极交流信号就等电位, 输入信号就无法加到晶体管  $VT_1$  的输入回路中。

3) 集电极负载电阻  $R_3$ 。 $R_3$  是  $VT_1$  集电极负载电阻, 它的作用同前面共发射极放大器中的集电极负载电阻一样, 将  $VT_1$  集电极电流的变化转换成相应的集电极电压的变化, 将放大后的交流信号



以电压形式传输到后一级电路中。

4) 耦合电容  $C_1$  和  $C_2$ 。 $C_1$  是这一放大器的输入端耦合电容,  $C_2$  是这一放大器的输出端耦合电容, 这两只电容的作用相同, 起隔直流通交流的作用。

### ★11.7.3 共基极放大器主要特性



#### 共基极放大器重要特性

共基极放大器有它自己的特性, 且与另两种放大器不同。

1) 具有电压放大能力。共基极放大器具有电压放大能力, 其电压放大倍数远大于 1。

输入信号电压加在基极与发射极之间, 只要有很小的输入信号电压, 就会引起基极电流的变化, 从而引起放大的集电极电流的变化, 并通过  $R_3$  转换成集电极电压的变化, 因为电阻  $R_3$  阻值较大, 所以输出信号电压远大于输入信号电压, 这样共基极放大器具有电压放大能力。

2) 没有电流放大能力。共基极放大器没有电流放大能力, 其电流放大倍数小于 1 而接近于 1。

共基极放大器没有电流放大能力这一特性可以这么理解: 这一输入信号电流是  $VT_1$  管发射极电流 (信号从发射极输入), 而输出信号电流是集电极电流, 由晶体管的各电极电流大小特性可知, 集电极电流小于发射极电流, 因此这种放大器的输出信号电流小于输入信号电流, 所以没有电流放大能力。

由于晶体管集电极电流略小于发射极电流, 所以共基极放大器的电流放大倍数小于 1 而接近于 1。

3) 输出信号电压和输入信号电压相位相同。共基极放大器的输出信号电压和输入信号电压相位相同, 这一特性可以这样理解: 当  $VT_1$  发射极上输入信号电压在增大时, 使  $VT_1$  发射极电压增大, 由于  $VT_1$  是 NPN 型晶体管, 所以发射结正向偏置电压 (发射极与基极之间的电压) 在减小, 使基极电流减小, 发射极电流也随之减小, 集电极电流也在减小。

由于集电极和发射极电流减小, 使  $VT_1$  集电极电压增大, 这说明共基极放大器中的集电极电压和发射极电压同时增大, 同理可证, 当  $VT_1$  发射极电压下降时,  $VT_1$  集电极电压也在下降。所以共基极放大器的输出信号电压和输入信号电压是同相位的。

4) 输出阻抗大。输出阻抗大是共基极放大器的一个缺点。当放大器的输出电阻大时, 放大器带负载的能力差, 也就是放大器输出信号电流的能力差。

共基极放大器电路的输入阻抗和输出阻抗特性与共集电极放大器的输入阻抗和输出阻抗特性恰好相反, 将这两种放大器的阻抗特性联系起来记忆比较方便, 首先记住共集电极放大器的阻抗特性。

5) 输入阻抗小。输入阻抗小是这种放大器的另一个缺点。

当放大器的输入阻抗小时, 要求前级放大器或信号源电路输出更大的信号电流, 也就是要有更大的输入信号电流才能使共基极放大器正常工作。当前级放大器不能输出更大的信号电流时, 就要同时影响前级放大器和这一级共基极放大器的正常工作了。

6) 高频特性好。高频特性好是共基极放大器的可贵优点。

由晶体管频率特性可知, 当晶体管的工作频率高到一定程度时 (晶体管中所放大的信号频率很高了), 晶体管的放大能力明显下降。同一只晶体管, 当接成共基极放大器时, 它的工作频率比接成其他形式的放大器时要高, 所以共基极放大器主要用在高频信号的放大电路中。



#### 共基极放大器电路分析小结

1) 绘制共基极放大器电路图时, 电路中的晶体管水平绘制, 不像其他类型放大器中的晶体管那样垂直绘制, 但并不是说水平绘制的晶体管电路就一定是共基极放大器 (电源滤波电路中电子滤波管也是水平绘制的), 主要是看输入信号是否从晶体管的发射极输入, 输出信号是否从晶体管的集电极输出。

2) 由于共基极放大器主要用在高频放大电路中, 所以电路中电容器的容量均很小, 在音频放





大器中不用共基极放大器，共基极放大器在民用电子电器中常用于调频收音电路中，作为调频高频放大器。

3) 在理解共基极放大器电路工作原理时，一个难点是输入信号加到发射极上，习惯上认为发射极是输出信号的，其实共基极放大器的输入信号是从晶体管基极与发射极之间输入的，只是基极被交流接地了。

★11.7.4 三种类型放大器综述

了解三种放大器的主要特性有利于更清晰地理解和分析放大电路。

1. 三种放大器特性比较

如表 11-2 所示是晶体管构成的共发射极放大器、共集电极放大器和共基极放大器的主要特性比较。

表 11-2 共发射极、共集电极和共基极放大器主要特性比较

| 项目          | 共发射极放大器 | 共集电极放大器  | 共基极放大器   |
|-------------|---------|----------|----------|
| 电压放大倍数      | 远大于 1   | 小于、接近于 1 | 远大于 1    |
| 电流放大倍数      | 远大于 1   | 远大于 1    | 小于、接近于 1 |
| 输入阻抗        | 一般      | 大        | 小        |
| 输出阻抗        | 一般      | 小        | 大        |
| 输出、输入信号电压相位 | 反相      | 同相       | 同相       |
| 应用情况        | 最多      | 其次       | 最少       |
| 频率响应        | 差       | 较好       | 好        |
| 高频特性        | 一般      | 一般       | 好        |

2. 应用情况

1) 三种放大器中，共发射极放大器应用最为广泛，在各种频率的放大系统中都有应用，是信号放大的首选电路。

2) 共集电极放大器由于它的输入阻抗大、输出阻抗小这一特点，主要用在放大系统中起隔离作用，例如用作多级放大系统中的输入级、输出级和缓冲级，使共集电极放大器的前级电路与后级电路之间相互影响减至最小。

3) 共基极放大器由于它的高频特性优良，所以它主要用在工作频率比较高的高频电路中，例如视频电路中。在一般音频放大电路中不用。

★11.7.5 三种类型放大器的判断方法

通过判断晶体管接成哪种类型，可以知道放大器的特性，如对信号电压和电流的放大情况等。

1. 判断原理和方法

1) 判断原理。判断晶体管接成什么类型放大器的原理是：放大器有一个输入回路，一个输出回路，每一个回路需要两根引脚，而晶体管只有三根引脚，这样晶体管三根引脚中必有一根引脚被输入和输出回路所共用，共用哪根引脚就是共该极的放大器。例如，共用发射极时，就是共发射极放大器。

2) 判断方法。实用有效的判断方法是：晶体管有一根引脚被共用。放大器的地线是电路中的共用参考点，所以晶体管的这根引脚应该交流接地（注意不是直流接地），只要看出晶体管的哪根引脚交流接地，就可以知道是什么类型的放大器。

2. 判断共发射极放大器的方法

如图 11-102 所示是几种共发射极放大器的电路图。

图 11-102a 所示电路中的  $VT_1$  发射极直接接地，图 11-102b 所示电路中的晶体管  $VT_1$  的发射极通过电容  $C_3$  接地，因为  $C_3$  的容量较大，对交流信号的容抗很小而呈通路，这样对交流信号而言





$VT_1$  发射极相当于接地, 所以这是一级共发射极放大器。

从共发射极放大器中可以看出,  $VT_1$  基极和集电极不接地。输入信号从基极与地之间输入到晶体管中, 为方便起见说成输入信号从基极输入; 输出信号从  $VT_1$  集电极与地之间输出, 说成从集电极输出。

### 3. 判断共集电极和共基极放大器方法

1) 判断共集电极放大器方法。如图 11-103 所示, 集电极接直流电源  $+U$ , 对交流而言  $+U$  端等效接地 ( $C_1$  将  $+U$  端交流接地), 所以  $VT_1$  集电极交流接地, 是共集电极放大器。

交流信号从基极输入 (基极与地之间输入), 信号从发射极输出 (发射极与地之间输出)。发射极与地之间不能接入旁路电容, 否则放大器交流短路, 无信号输出。

2) 判断共基极放大器方法。如图 11-104 所示, 基极通过旁路电容  $C_2$  交流接地, 这样基极被共用, 所以这是共基极放大器。交流信号从发射极输入 (发射极与地之间输入), 从集电极输出 (集电极与地之间输出)。

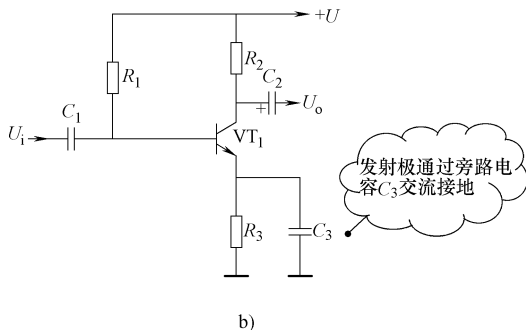
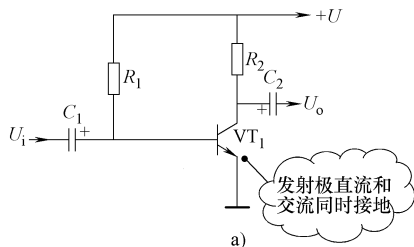


图 11-102 共发射极放大器电路图

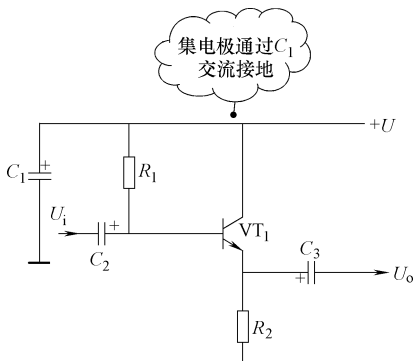


图 11-103 示意图

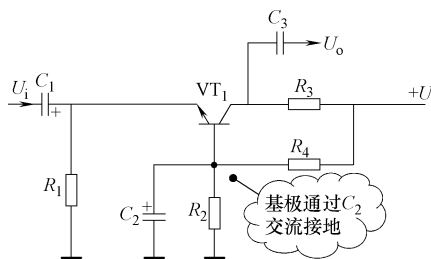


图 11-104 示意图

## 11.8 图解音频功率放大器

本节阅读建议: 反复阅读, 全面深入掌握音频功率放大器电路工作原理。本节所需要的基础知识主要是晶体管放大器电路等。

本节难度系数: 6 级。

本节记忆系数 9 级。音频功率放大器是十分常用的放大器, 所以必须牢牢掌握。



### 重要提示

音频功率放大器用来对音频信号进行功率放大。所谓功率放大就是通过先放大信号电压, 再放大信号电流, 实现信号的功率放大。

掌握音频功率放大器工作原理, 可以更容易地学习其他功率放大器。习惯上, 音频功率放大器又称为低放电路 (低频信号放大器)。

### ★11.8.1 图解音频功率放大器电路的结构、作用和种类

音频功率放大器放大的是音频信号，在不同机器中由于对输出信号功率等要求不同，所以采用了不同种类的音频功率放大器。

#### 1. 音频功率放大器电路组成框图

如图 11-105 所示是音频功率放大器电路组成框图。这是一个多级放大器，由最前面的电压放大级、中间的推动级和最后的功放输出级共三级电路组成。

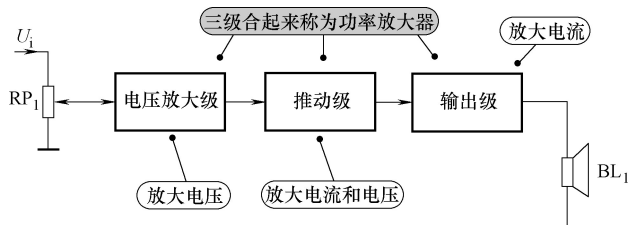


图 11-105 音频功率放大器电路组成框图

#### 重要提示

电路分析中，时常需要识别一个电路的前、后相关联电路，这有利于了解信号的“来龙去脉”。与音频功率放大器前、后连接的电路是：负载为扬声器电路，输入信号  $U_i$  来自音量电位器  $RP_1$  动片的输出信号。

#### 2. 功率放大器中各单元电路作用

1) 音量控制器作用。音量控制器  $RP_1$  用来控制输入功率放大器的信号大小，从而可以控制功率放大器输出到扬声器中的信号功率大小，达到控制声音大小（音量）的目的。

2) 电压放大级作用。用来对输入信号进行电压放大，使加到推动级的信号电压达到一定的程度。根据机器对音频输出功率要求的不同，电压放大器的级数不等，可以只有一级电压放大器，也可以是采用多级电压放大器。

3) 推动级作用。用来推动功放输出级，对信号电压和电流进行进一步放大，有的推动级还要完成输出两个大小相等、方向相反的推动信号。推动放大器也是一级电压、电流放大器，它工作在大信号放大状态下。

4) 输出级作用。它用来对信号进行电流放大。电压放大级和推动级对信号电压已经进行了足够的电压放大，输出级再进行电流放大，以达到对信号功率放大的目的，这是因为输出信号功率等于输出信号电流与电压之积。

5) 扬声器作用。它是功率放大器的负载，功率放大器输出信号用来激励扬声器（或音箱）发出声音。

#### 电路结构提示

一些要求输出功率较大的功率放大器中，功放输出级分成两级，除输出级之外，在输出级前再加一级末前级，这一级电路的作用是进行电流放大，以便获得足够大的信号电流来激励功率输出级的大功率晶体管。

#### 3. 信号传输线路

如图 11-106 所示是音频功率放大器信号传输线路示意图。

#### 4. 功率放大器种类

功率放大器以功放输出级电路形式来划分种类，如下所示是常见的音频功率放大器。

1) 变压器耦合甲类功率放大器。这种电路这主要用于一些早期的半导体收音机和其他一些电

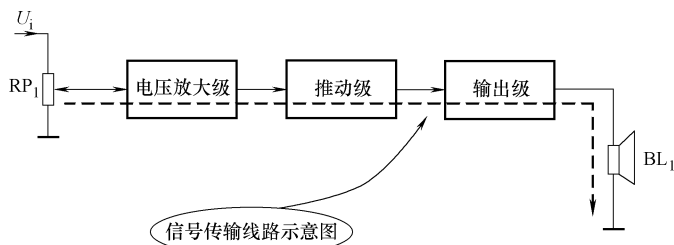


图 11-106 音频功率放大器信号传输线路示意图

子电器中,如小功率的电子管功率放大器中,现在很少见到。

2) 变压器耦合推挽功率放大器。这种电路主要用于一些输出功率较大的收音机中,常用于电子管功率放大器中。

3) OTL 功率放大器。它是目前广泛应用的一种功放电路,收音机、录音机、电视机等许多场合中都使用。

4) OCL 功率放大器。它主要用于一些输出功率要求较大的场合,如扩音机和组合音响中。

5) BTL 功率放大器。它主要用于一些要求输出功率比较大的场合下,还用于一些低压供电的机器中。

6) 矩阵式功率放大器。它主要用于低电压供电情况下的机器中,采用这种功率放大器后,可以使低压供电机器左、右声道输出较大功率。



#### 重要提示

OTL 功率放大器应用最多,所以必须深入掌握。掌握了典型的分立元器件 OTL 功率放大器工作原理之后,才能比较顺利地分析各种 OTL 功率放大器的变形电路、集成电路 OTL 功率放大器、OCL 功率放大器和 BTL 功率放大器。

### ★11.8.2 图解甲类放大器、乙类放大器和甲乙类放大器

根据功放输出晶体管在放大信号时的信号工作状态和晶体管静态电流大小划分,常见放大器有甲类放大器、乙类放大器和甲乙类放大器三种。

#### 1. 甲类放大器

在单级放大器介绍了共发射极、共集电极和共基极放大器,这几种放大器是根据晶体管输入、输出回路共用哪个电极划分的。如果根据晶体管在放大信号时的信号工作状态和晶体管静态电流大小划分,放大器主要有甲类、乙类和甲乙类三种放大器,其外还有超甲类等许多种放大器。



#### 重要提示

甲类放大器就是给放大管加入合适的静态偏置电流,这样用一只晶体管同时放大信号的正、负半周。在功率放大器中,功放输出级中的信号幅度已经很大,如果仍然让信号的正、负半周同时用一只晶体管来放大,这种电路称之为甲类放大器。

在功放输出级电路中,甲类放大器的功放管静态工作电流设得比较大,要设在放大区的中间,以便给信号的正、负半周有相同的线性范围,这样当信号幅度太大时(超出放大管的线性区域),信号的正半周进入晶体管饱和区而被削顶,信号的负半周进入截止区而被削顶,此时对信号正半周与负半周的削顶量相同,如图 11-107 所示。

甲类放大器主要特点说明下列几点:

1) 音质好。由于信号的正、负半周用一只晶体管来放大,如图所示,这样信号的非线性失真很小,声音的音质比较好,这是甲类功率放大器的主要优点之一,所以一些音响中采用这种放大器

作用为功率放大器。

2) 输出功率不够大。信号的正、负半周用同一只晶体管放大,使放大器的输出功率受到了限制,即一般情况下甲类放大器的输出功率不可能做得很大。

3) 电源消耗大。功率晶体管的静态工作电流比较大,没有输入信号时对直流电源的消耗比较大,当采用电池供电时这一问题更加突出,因为对电源(电池)的消耗大。

## 2. 乙类放大器

所谓乙类放大器就是不给晶体管加静态偏置电流,而且用两只性能对称的晶体管来分别放大信号的正半周和负半周,在放大器的负载上将正、负半周信号合成一个完整周期的信号。

如图 11-108 所示是没有考虑这种放大器非线性失真时的乙类放大器工作原理示意图。关于乙类放大器工作原理说明下列几点:

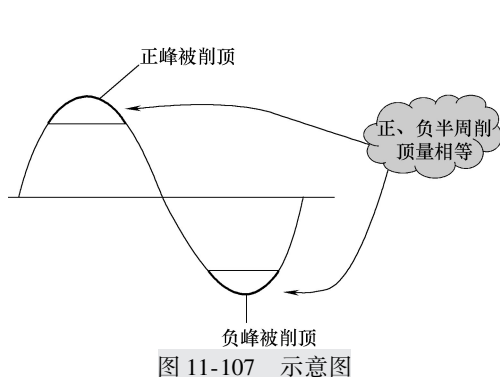


图 11-107 示意图

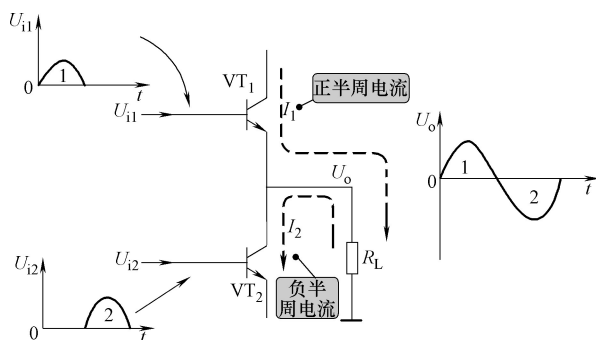


图 11-108 乙类放大器工作原理示意图

1) 输出管无直流偏置电流。如图 11-109 所示,电路中  $VT_1$  和  $VT_2$  管构成功率放大器输出级电路,两只晶体管基极没有偏置电路,所以它没有静态直流电流。输入信号  $U_{i1}$  加到  $VT_1$  管基极,输入信号  $U_{i2}$  加到  $VT_2$  管基极,这个输入信号大小相等、相位相反,且幅度足够大,这样由输入信号电压直接驱动  $VT_1$  和  $VT_2$  管进入放大工作状态。

2) 正半周情况分析。由于加到功放级的输入信号  $U_{i1}$ 、 $U_{i2}$  幅度已经足够地大,所以可以用输入信号  $U_{i1}$  本身使  $VT_1$  管进入放大区,这一信号经  $VT_1$  管放大后加到负载  $R_L$ ,其信号电流方向如图 11-110 所示,即从上而下流过  $R_L$ ,在负载  $R_L$  上得到半周信号 1。 $VT_1$  管进入放大状态时, $VT_2$  管处于截止状态。

3) 负半周情况分析。半周信号 1 过去后,另半周信号  $U_{i2}$  加到  $VT_2$  管基极,由输入信号  $U_{i2}$  使  $VT_2$  管进入放大区, $VT_2$  管放大这一半周信号, $VT_2$  管的输出电流方向如图 11-111 所示,从下而上地流过负载电阻  $R_L$ ,这样在负载电阻上得到负半周信号 2。 $VT_2$  管进入放大状态时, $VT_1$  管处于截止状态。

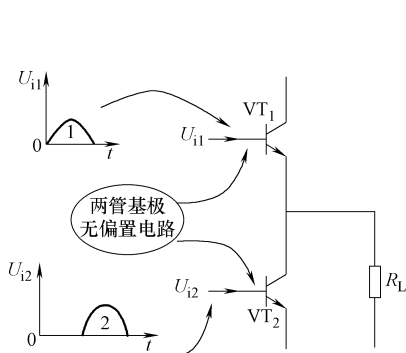


图 11-109 示意图

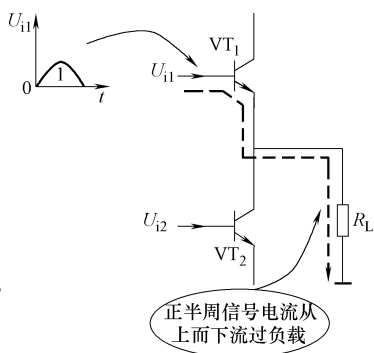


图 11-110 正半周信号回路示意图

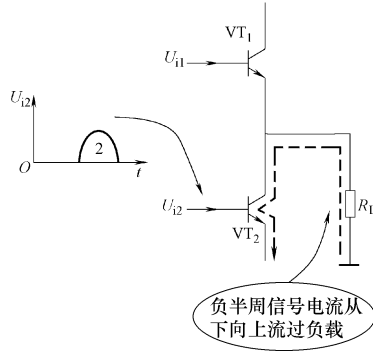


图 11-111 负半周信号回路示意图



这样在负载  $R_L$  上能够得到一个完整的信号,如图 11-112 所示是负载  $R_L$  上的信号波形示意图。

4) 交越失真。由于晶体管工作在放大状态下,晶体管又没有静态偏置电流,而是用输入信号电压给晶体管加正向偏置,这样在输入较小的信号时或大信号的起始部分,信号落到了晶体管的截止区,由于截止区是非线性的,将产生如图 11-113 所示的失真。

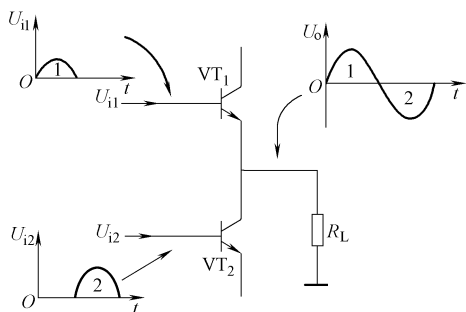


图 11-112 负载  $R_L$  上的信号波形示意图

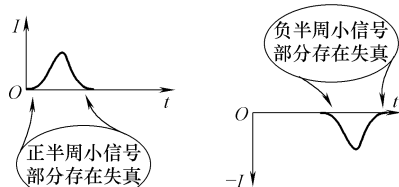


图 11-113 失真波形示意图

如图 11-114 所示是将正、负半周信号合成起来后的信号波形示意图,从乙类放大器输出信号波形中可以看出,其正、负半周信号在幅度较小时存在失真,放大器的这种失真称为交越失真,这种失真是非线性失真中的一种,对声音的音质破坏严重,所以乙类放大器是不能用于音频放大器中,只用于一些对非线性失真没有要求的功率放大场合。

5) 输出功率大。输入信号的正、负半周各用一只晶体管放大,可以有效地提高放大器的输出功率,即乙类放大器的输出功率可以做得很大。

6) 省电。在没有输入信号时,晶体管处于截止状态,不消耗直流电源,这样比较省电,这是这种放大器的主要优点之一。

### 3. 甲乙类放大器

为了克服交越失真,必须使输入信号避开晶体管的截止区,可以给晶体管加入很小的静态偏置电流,如图 11-115 所示,电路中的  $VT_1$  和  $VT_2$  管构成功率放大器输出级电路,电阻  $R_1$  和  $R_2$  分别给  $VT_1$  和  $VT_2$  管提供很小的静态偏置电流,以克服两管的截止区,使两管进入微导通状态,这样输入信号便能直接进入晶体管的放大区。

如图 11-116 所示是输出管基极直流电流回路示意图。

在甲乙类放大器中,给输出管加以较小直流偏置电压后,可以使输入信号“骑”在很小的直流偏置电流上,如图 11-117 所示,这样可以避开了晶体管的截止区,使输出信号不失真。

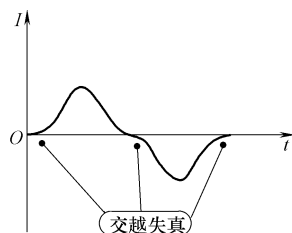


图 11-114 乙类放大器交越失真波形示意图

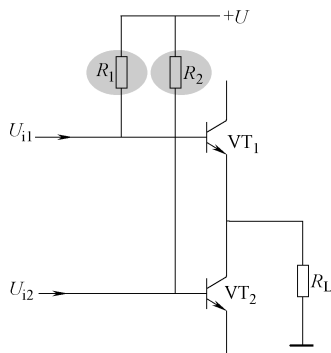


图 11-115 甲乙类放大器



#### 重要提示

从图中可以看出,输入信号  $U_{i1}$  和  $U_{i2}$  分别“骑”在一个直流偏置电流上,用这一很小的直流偏置电流克服晶体管的截止区,使两个半周信号分别工作在  $VT_1$  和  $VT_2$  管的放大区,达到克服交越失真的目的。

如图 11-118 所示是甲乙类放大器输出信号波形示意图,从图中看出,输出信号已不存在交越失真。

甲乙类放大器主要特点有下列几点:

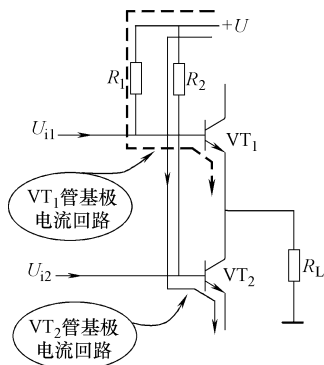


图 11-116 输出管基极直流电流回路示意图

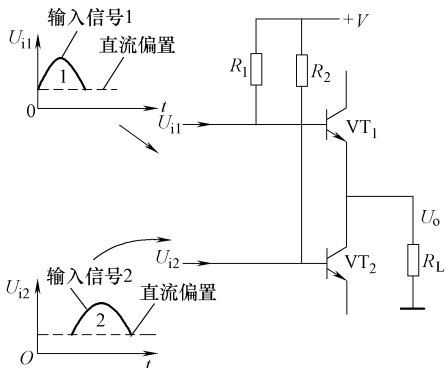


图 11-117 甲乙类放大器克服交越失真示意图

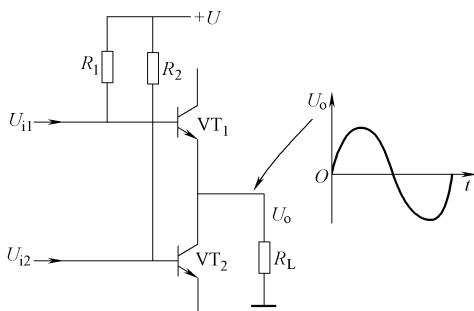


图 11-118 甲乙类放大器输出信号波形示意图

1) 功放管刚进放大区。甲乙放大器同乙类放大器一样，用两只晶体管分别放大输入信号的正、负半周信号，但是给两只晶体管加入了很小的直流偏置电流，以使晶体管刚刚进入放大区。

2) 具有甲类和乙类放大器优点，且克服了它们的缺点。由于给晶体管所加的静态直流偏置电流很小，在没有输入信号时放大器对直流电源的消耗比较小（比起甲类放大器要小得多），这样具有乙类放大器的省电优点，同时因为加入的偏置电流克服了晶体管的截止区，对信号不存在失真，又具有甲类放大器无非线性失真的优点。

所以，甲乙放大器具有甲类和乙类放大器的优点，同时克服了这两种放大器的缺点。正是由于甲乙类放大器无交越失真和省电的优点，广泛地应用于音频功率放大器中。

3) 也会产生交越失真。当这种放大电路中的晶体管静态直流偏置电流太小或没有时，就成了乙类放大器，将产生交越失真；如果这种放大器中的晶体管静态偏置电流太大，就失去了省电的优点，同时也造成信号动态范围的减小。

### ★11.8.3 图解推挽、互补推挽和复合互补推挽放大器

掌握了功率放大器中的重要单元电路工作原理，便可能轻松分析功率放大器。

#### 1. 推挽放大器

如图 11-119 所示是推挽放大器工作原理电路。VT<sub>1</sub> 和 VT<sub>2</sub> 构成推挽输出级电路，VT<sub>1</sub> 和 VT<sub>2</sub> 是 NPN 型大功率晶体管，性能参数非常接近（同型号晶体管，所谓配对），两管构成一级放大器。T<sub>1</sub> 称为输入耦合变压器，T<sub>2</sub> 称为输出耦合变压器。

1) 基极电流回路分析。如图 11-120 所示是两管基极电流回路示意图，R<sub>1</sub> 是两管共用的固定式偏置电阻，为 VT<sub>1</sub> 和 VT<sub>2</sub> 管提供很小的静态电流，使两管工作在甲乙类状态。C<sub>1</sub> 为滤波电容。

2) VT<sub>1</sub> 管导通时集电极电流回路分析。在 VT<sub>1</sub> 管进入导通放大状态时，VT<sub>1</sub> 导通时电流回路是：如图 11-121 所示是 VT<sub>1</sub> 管集电极电流回路示意图，+U→T<sub>2</sub> 一次线圈上半部分→VT<sub>1</sub> 集电极→VT<sub>1</sub> 发射极→R<sub>2</sub>→地。

3) VT<sub>2</sub> 管导通时集电极电流回路分析。在 VT<sub>2</sub> 管进入导通放大状态时，VT<sub>2</sub> 导通时电流回路是：如图 11-122 所示是 VT<sub>2</sub> 管集电极电流回路示意图，+U→T<sub>2</sub> 一次线圈下半部分→VT<sub>2</sub> 集电极→VT<sub>2</sub> 发射极→R<sub>2</sub>→地。

4) 认清输入变压器 T<sub>1</sub> 两个输出信号。二次侧的中心抽点通过电容 C<sub>1</sub> 交流接地，二次线圈两



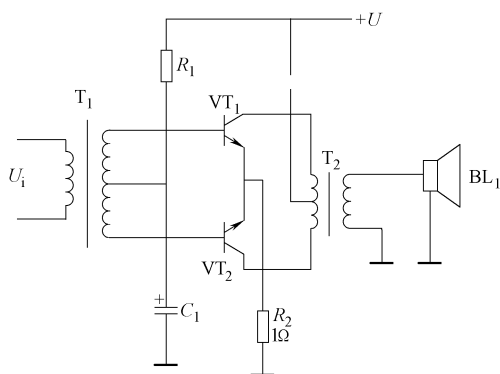


图 11-119 推挽放大器工作原理电路

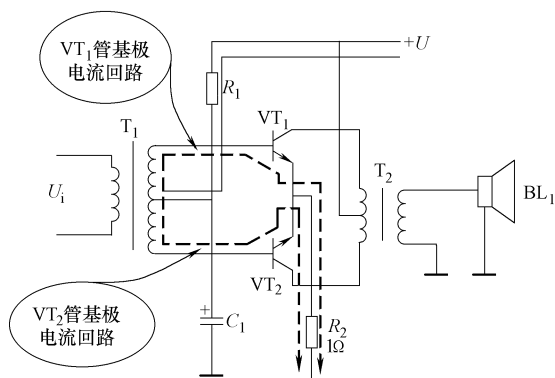
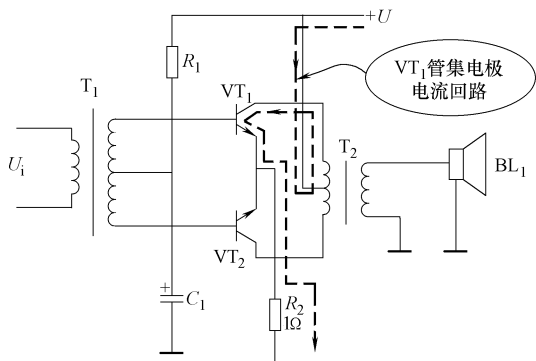
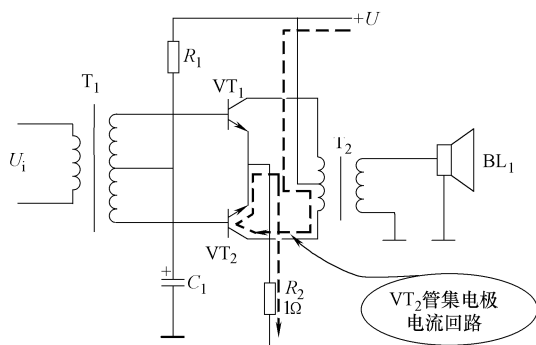


图 11-120 两管基极电流回路示意图

图 11-121  $VT_1$  管集电极电流回路示意图图 11-122  $VT_2$  管集电极电流回路示意图

端输出大小相等、相位相反的两组信号，如图 11-123 所示，用来驱动  $VT_1$  和  $VT_2$  管。

$VT_1$  基极幅度很大的正半周信号使  $VT_1$  导通，负半周给  $VT_1$  反向偏置， $VT_1$  截止。 $VT_2$  基极为正半周信号时  $VT_1$  导通，信号为负半周时  $VT_2$  截止。

5)  $VT_1$  管导通放大过程分析。如图 11-124 所示是  $VT_1$  管导通放大时信号电流回路示意图，正半周信号电流在  $VT_1$  管基极回路流过，这时  $VT_1$  管集电极电流流过输出变压器抽头以上一次线圈，在  $T_2$  二次回路输出信号电流，这一电流流过扬声器  $BL_1$ ，使  $BL_1$  发声。

6)  $VT_2$  管导通放大过程分析。如图 11-125 所示是  $VT_2$  管导通放大时信号电流回路示意图，正半周信号电流在  $VT_2$  管基极回路流过，这时  $VT_2$  管集电极电流流过输出变压器抽头以下一次线圈，在  $T_2$  二次回路输出信号电流，这一电流流过扬声器  $BL_1$ ，使  $BL_1$  发声。



#### 理解方法提示

$VT_1$  管导通时信号一个半周电流流过  $T_2$  一次线圈， $VT_2$  管导通时信号另一个方向相反的半周电流流过  $T_2$  一次线圈，这样  $T_2$  二次线圈输出正、负半周一个完整的信号，加到扬声器上。

7) 推挽工作状态。 $VT_1$  管基极为正半周信号时， $VT_2$  管基极为负半周信号； $VT_1$  管基极为负半周信号时， $VT_2$  管基极为正半周信号。两只晶体管一只导通、一只截止，分别放大半周信号，称推挽工作状态。

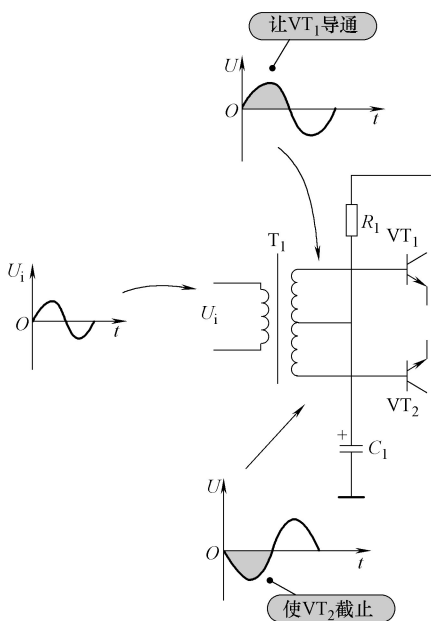


图 11-123 大小相等、相位相反的两组信号

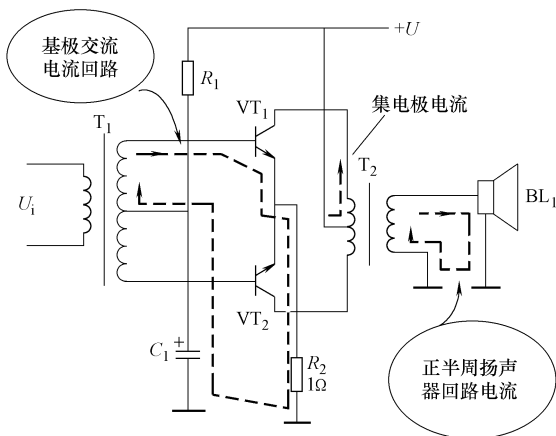


图 11-124  $VT_1$  管导通放大时信号电流回路示意图

## 2. 互补推挽放大器

如图 11-126 所示是互补推挽放大器工作原理电路。 $VT_1$  是 NPN 型大功率晶体管,  $VT_2$  是 PNP 型大功率晶体管, 要求两只晶体管极性参数十分相近,  $VT_1$  和  $VT_2$  构成互补推挽输出级电路。两只晶体管基极直接相连, 在两管基极加有一个音频输入信号  $U_i$ 。

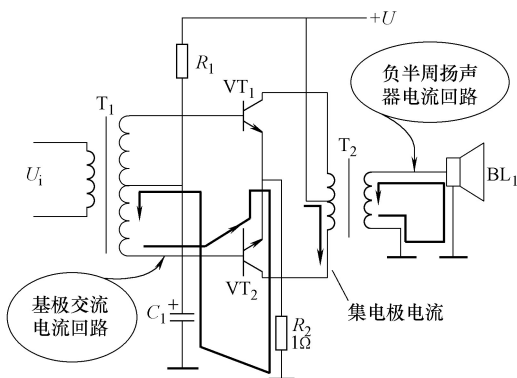


图 11-125  $VT_2$  管导通放大时信号电流回路示意图

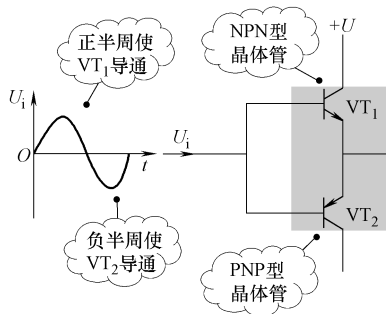


图 11-126 互补推挽放大器工作原理电路

用一个激励信号。利用不同极性晶体管输入极性不同, 用一个信号来激励两只晶体管, 这样可以不需要两个大小相等、相位相反的激励信号。

两管基极相连, 由于两只晶体管的极性不同, 基极上的输入信号电压对两管而言一个是正向偏置, 一个是反向偏置。

输入信号为正半周时, 两管基极同时电压升高, 输入信号电压给  $VT_1$  加正向偏置电压,  $VT_1$  进入导通和放大状态; 基极电压升高对  $VT_2$  是反向偏置电压, 所以  $VT_2$  处于截止状态。

当输入信号变化到负半周后, 两管基极同时电压下降, 使  $VT_2$  进入导通和放大状态, 而  $VT_1$  进入截止状态。



### 重要提示

利用 NPN 型和 PNP 型晶体管的互补特性, 用一个信号来同时激励两只晶体管的电路, 称为

“互补”电路。由互补电路构成的放大器称为互补放大器。

两只不同极性晶体管工作时，一只导通放大，另一只截止，工作在推挽状态，称为互补推挽放大器。

3. 复合互补推挽放大器工作原理详解

互补推挽放大器中两只输出管是不同极性的大功率晶体管，要求两管的性能参数相同比较困难，配对时成本较高，采用复合互补推挽式电路就能够解决这一问题，在实用电路中普遍采用复合互补推挽式电路。

如图 11-127 所示是复合互补推挽放大器工作原理电路， $VT_1$  和  $VT_2$  构成一只复合管， $VT_3$  和  $VT_4$  构成另一只复合管。 $VT_2$  和  $VT_4$  是两只 NPN 型的大功率晶体管，同极性大功率晶体管性能相同容易做到。不同极性的小功率晶体管  $VT_1$  和  $VT_3$  性能相同比不同极性的大功率晶体管极性相同容易做到，这是为什么要采用复合互补推挽电路的原因。

电路中， $VT_1$  和  $VT_3$  构成的是互补电路， $VT_1$  是 NPN 型晶体管， $VT_3$  是 PNP 型晶体管。

$VT_2$  由  $VT_1$  导通后的发射极电流驱动， $VT_1$  不通， $VT_2$  不通，两管同时导通，同时截止； $VT_4$  由  $VT_3$  导通后集电极电流驱动，两管同时导通，同时截止。

推挽过程是：将  $VT_1$  和  $VT_2$  两管等效成 NPN 型晶体管、 $VT_3$  和  $VT_4$  两管等效成 PNP 型晶体管，这样可以方便地分析推挽工作过程。

4. 复合管电路

复合管电路共有 4 种。复合管用两只晶体管按一定方式连接起来，等效成一只晶体管，功率放大器中常采用复合管构成功率放大输出级电路。如表 11-3 所示是复合管电路说明。

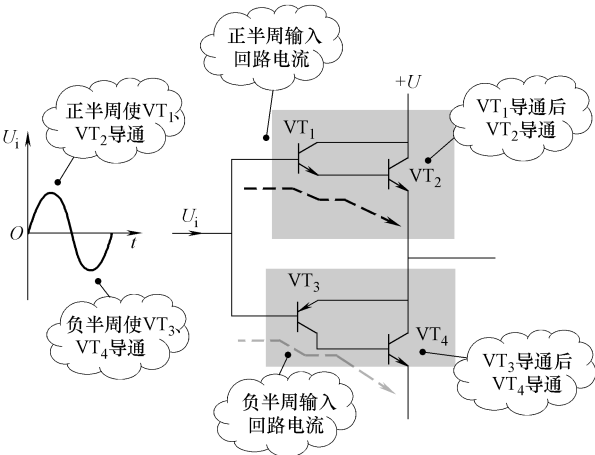


图 11-127 复合互补推挽放大器工作原理电路

表 11-3 复合管电路说明

| 复合管电路 | 等效电路 | 说 明                                                             |
|-------|------|-----------------------------------------------------------------|
|       |      | 两只同极性 PNP 型晶体管构成的复合管,等效成一只 PNP 型晶体管                             |
|       |      | 两只 NPN 型晶体管构成的复合管,等效成一只 NPN 型晶体管                                |
|       |      | $VT_1$ 是 PNP 型、 $VT_2$ 为 NPN 型晶体管,是不同极性晶体管构成的复合管,等效成一只 PNP 型晶体管 |
|       |      | 不同极性构成的复合管, $VT_1$ 是 NPN 型, $VT_2$ 为 PNP 型晶体管,等效成一只 NPN 型晶体管    |

### 识别方法提示

复合管极性识别绝招：两只晶体管复合后的极性取决于第一只晶体管的极性。

关于复合管需要掌握下列几个电路细节：

1)  $VT_1$  为输入管,  $VT_2$  为第二级晶体管。 $VT_1$  是小功率的晶体管,  $VT_2$  则是功率更大的晶体管。  
2) 复合管总的电流放大倍数  $\beta$  为各管电流放大倍数之积。复合管总的  $\beta = \beta_1 \beta_2$  ( $\beta_1$  为  $VT_1$  电流放大倍数,  $\beta_2$  为  $VT_2$  电流放大倍数), 可见采用复合管可以大幅提高晶体管的电流放大倍数。

3) 复合管的集电极—发射极反向截止电流 (俗称穿透电流)  $I_{CEO}$  很大。这是因为  $VT_1$  的  $I_{CEO1}$  全部流入了  $VT_2$  基极, 经  $VT_2$  放大后从其发射极输出后很大。晶体管  $I_{CEO}$  大, 对晶体管的稳定工作十分不利。为了减小复合管的  $I_{CEO}$ , 常采用如图 11-128 所示电路措施减小复合管的  $I_{CEO}$ 。

$R_1$  作用是: 接入分流电阻  $R_1$  后, 使  $VT_1$  输出的部分  $I_{CEO}$  经  $R_1$  分流到地, 减小了流入  $VT_2$  基极的电流量, 达到减小复合管  $I_{CEO}$  的目的。当然,  $R_1$  对  $VT_1$  输出信号也同样存在分流衰减作用。

$R_2$  作用是: 电阻  $R_2$  构成  $VT_2$  发射极电流串联负反馈电路, 用来减小复合管的  $I_{CEO}$ , 因为加入电流负反馈能够稳定复合管的输出电流, 这样可以抑制复合管的  $I_{CEO}$ 。另外, 串联负反馈有利于提高  $VT_2$  的输入电阻, 这样  $VT_1$   $I_{CEO}$  流入  $VT_2$  管基极的量更少, 流过  $R_1$  的量更多, 也能达到减小复合管  $I_{CEO}$  的目的。

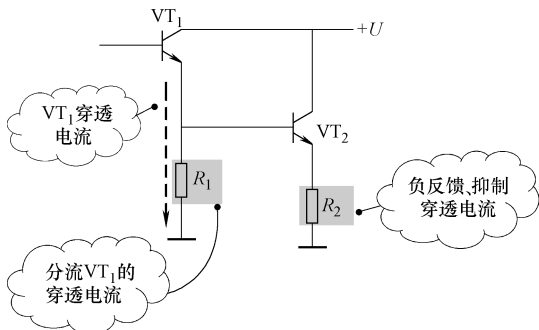


图 11-128 减小复合管  $I_{CEO}$  电路措施

## ★11.8.4 功率放大器定阻式输出和定压式输出

### 重要提示

功率放大器的输出特性有两种：一是定阻式输出，二是定压式输出。

#### 1. 功率放大器定阻式输出概念详解

变压器耦合的功率放大器为定阻式输出特性, 在这种输出式电路中要求负载阻抗确定不变, 在功率放大器输出级电路中的输出变压器一次和二次线圈匝数确定后, 扬声器的阻抗便不能改变。

例如, 原来采用  $4\Omega$  扬声器, 则不能采用  $8\Omega$  等其他阻抗的扬声器, 否则扬声器与功率放大器输出级之间阻抗不匹配, 此时会出现下列一些现象:

- 1) 扬声器得不到最大输出功率。
- 2) 许多情况下要烧坏电路中的元器件。

一些采用定阻式输出的功率放大器中, 输出耦合变压器二次线圈设有多个抽头, 供接入不同阻抗扬声器时选择使用, 此时要注意扬声器 (或音箱) 阻抗与接线柱上的阻抗标记一致。

显然, 定阻式输出的功率放大器在与扬声器配接时使用不方便。

#### 2. 功率放大器定压式输出

所谓定压式输出是指负载阻抗大小在一定范围内变化时, 功率放大器输出端的输出信号电压不随负载阻抗的变化而变化。OTL、OCL、BTL 等功放电路具有定压式输出的特性。

在定压式输出的功率放大器中, 对负载 (指功率放大器的负载) 阻抗要求没有定阻式输出那



么严格, 负载阻抗可以有些变化而不影响放大器的正常工作, 但是负载所获得的功率将随负载阻抗不同而有所变化。负载上的信号功率由下式决定:

$$P_o = \frac{U_o^2}{Z}$$

式中,  $P_o$  为功率放大器负载所获得的信号功率, 单位 W;  $U_o$  为功率放大器输出信号电压, 单位 V;  $Z$  为功率放大器的负载阻抗, 单位  $\Omega$ 。

从上式可以看出, 由于  $U_o$  基本不随  $Z$  变化, 所示  $P_o$  的大小主要取决于负载阻抗  $Z$ 。负载阻抗  $Z$  越小, 负载获得的功率越大, 反之则越小。

OTL、OCL、BTL 功率放大器中, 为了使负载获得较大信号功率, 扬声器大多采用  $3.2\Omega$ 、 $4\Omega$ , 而很少采用  $8\Omega$  和  $16\Omega$  的扬声器。

## 11.9 图解 OTL 功率放大器

本节阅读建议: 精细阅读, 全面深入掌握 OTL 功率放大器电路工作原理。

本节难度系数: 5 级。

本节记忆系数: 9 级。OTL 功率放大器是十分常用的放大器, 所以必须牢牢掌握。

OTL 是英文 Output TransformerLess 简写, 意思是无输出变压器。前面介绍的功率放大器要设输出耦合变压器, OTL 功率放大器就是没有输出耦合变压器的功率放大器。

### ★11.9.1 图解 OTL 功率放大器输出端耦合电容电路

一个功率放大器采用输出耦合变压器后会带来以下几个问题:

- 1) 变压器安装不方便, 成本高, 体积大。
- 2) 对于低频信号而言, 由于一般输出变压器的电感量不足, 使放大器对低频信号的放大倍数不够, 造成低音不足现象。
- 3) 变压器的漏磁对整个放大器的工作构成了危害, 它会干扰放大器的正常工作。

OTL 功率放大器采用输出端耦合电容取代输出耦合变压器解决了上述问题, 所以应用十分广泛。

如图 11-129 所示是 OTL 功率放大器输出端耦合电容电路。VT<sub>1</sub> 和 VT<sub>2</sub> 是 OTL 功率放大器输出管,  $C_1$  是输出端耦合电容, BL<sub>1</sub> 是扬声器。

#### 1. 输出端耦合电容 $C_1$ 两个作用

- 1) 隔直通交作用。 $C_1$  将功放放大器输出端的交流信号耦合到扬声器 BL<sub>1</sub> 中, 同时将输出端的直流电压与扬声器隔离。扬声器的直流电阻很小, 没有  $C_1$  输出端将直流短路。

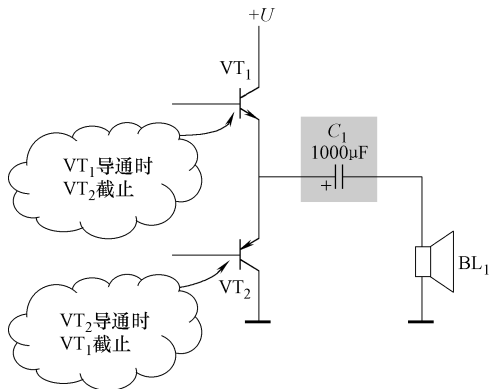


图 11-129 OTL 功率放大器输出端耦合电容电路

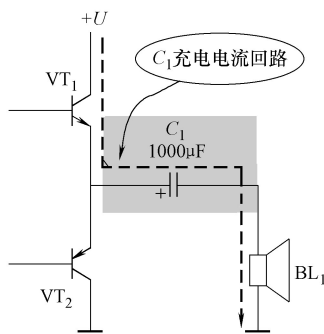


图 11-130 电容  $C_1$  充电电流回路示意图

2) 负半周放大管电源作用。 $VT_2$  进入导通、放大状态时,  $C_1$  作为  $VT_2$  的直流电源之用。

### 2. 输出端耦合电容充电过程

通电后, 直流工作电压  $+U$  对电容  $C_1$  充电电流回路是: 如图 11-130 所示, 直流工作电压  $+U \rightarrow VT_1$  集电极  $\rightarrow VT_1$  发射极 ( $VT_1$  已在静态偏置电压下导通)  $\rightarrow C_1$  正极  $\rightarrow C_1$  负极  $\rightarrow BL_1$  (直流电阻很小)  $\rightarrow$  地线。很快电容  $C_1$  充电完毕,  $C_1$  中无电流流过, 扬声器  $BL_1$  中也没有直流电流流过。

静态时 OTL 功率放大器输出端直流电压等于  $+U$  的一半。

电容  $C_1$  一端接输出端, 另一端通过扬声器  $BL_1$  接地, 根据电容充电特性可知, 静态时在  $C_1$  上充到  $+U$  一半大小的直流电压, 极性为左正右负, 即  $C_1$  两端的直流电压就是输出端的直流电压。

### 3. 输出端耦合电容电源作用

1)  $+U$  无法对  $VT_2$  供电。 $VT_2$  进入导通、放大状态时,  $VT_1$  截止 (推挽放大器中一只晶体管导通, 另一只截止),  $VT_1$  集电极与发射极之间相当于开路, 直流工作  $+U$  不能通过  $VT_1$  加到  $VT_2$  发射极, 在此期间直流电压  $+U$  不对  $VT_2$  供电。

2) 输出耦合电容上电压是  $VT_2$  电源。静态时, 电容  $C_1$  上已经充到左正右负的电压, 其值为  $+U$  的一半。

$VT_2$  导通、放大期间,  $C_1$  上电压供电就是  $C_1$  的放电过程, 其放电电流回路是: 如图 11-131 所示,  $C_1$  正极  $\rightarrow VT_2$  发射极  $\rightarrow VT_2$  集电极  $\rightarrow$  地端  $\rightarrow BL_1 \rightarrow C_1$  负极, 构成回路。

3) 负半周信号放大过程分析。 $C_1$  放电过程中, 它的放电电流大小受  $VT_2$  基极上所加信号控制, 所以  $C_1$  放电电流变化的规律为负半周信号电流的变化规律。

4) 输出端耦合电容要容量足够大。为了改善放大器的低频特性和能够为  $VT_2$  提供充足的电能, 要求输出端耦合电容容量很大, 在音频放大器中  $C_1$  一般取  $470 \sim 1000\mu F$ , 输出功率越大, 输出端耦合电容容量要求越大。

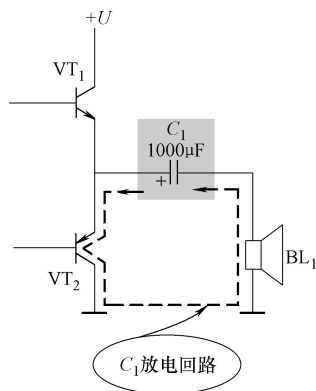


图 11-131  $C_1$  放电过程回路示意图

## ★11.9.2 图解分立元器件复合互补推挽式 OTL 功率放大器

如图 11-132 所示是分立元器件构成的 OTL 功率放大器。通过这一分立元器件电路可以掌握 OTL 功率放大器工作原理。

$VT_1$  构成推动级放大器。 $VT_2 \sim VT_5$  4 只晶体管构成复合互补推挽式输出级, 其中  $VT_2$  和  $VT_3$  组成一个复合管, 等效成一只 NPN 型晶体管,  $VT_4$  和  $VT_5$  构成一只 PNP 型晶体管。为了方便电路分析, 可以用等效极性的晶体管进行电路分析。 $VT_2$  和  $VT_4$  采用

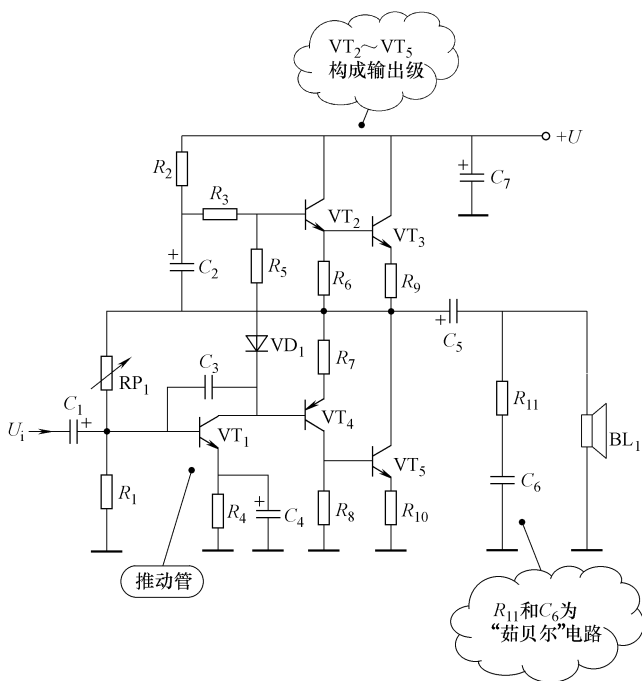


图 11-132 分立元器件构成的 OTL 功率放大器





小功率不同极性晶体管,  $VT_3$  和  $VT_5$  采用同极性大功率晶体管。

### 1. 直流电路分析

1)  $RP_1$  可以调节静态电流。 $RP_1$  和  $R_1$  对输出端的直流电压进行分压, 分压后的电压给  $VT_1$  提供基极直流偏置电压, 调节  $RP_1$  阻值大小可改变  $VT_1$  静态偏置状态, 从而可改变  $VT_2 \sim VT_5$  静态偏置状态。如图 11-133 所示是  $VT_1$  管直流电流回路示意图。

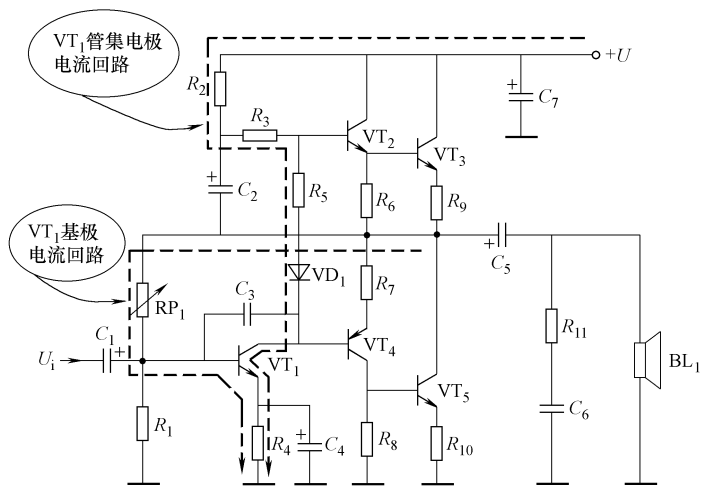


图 11-133  $VT_1$  管直流电流回路示意图



#### 电路分析提示

通过调节  $RP_1$  的阻值, 可以使功放输出级放大器输出端直流电压为  $+V$  的一半, 这样整个放大器直流电路进入正常的工作状态。

2) 复合管偏置电路分析。 $+U$  提供的直流电流流过  $R_5$  和  $VD_1$  偏置电路, 在  $R_5$  和  $VD_1$  两端产生了电压降, 使  $VT_2$  和  $VT_4$  基极之间有一定的电压差, 为  $VT_2 \sim VT_5$  建立直流偏置电压。



#### 电路分析提示

$R_5$  和  $VD_1$  是复合输出管  $VT_2 \sim VT_5$  的静态偏置电路, 提供很小的静态偏置电流, 以克服交越失真。

3) 电阻  $R_5$  作用分析。设置电阻  $R_5$  目的是为了加大  $VT_2$  和  $VT_4$  基极之间的电压, 采用复合管后需要更大正向偏置电压 ( $VT_2$  和  $VT_3$  发射结串联), 而  $VD_1$  只有 0.6V 管压降, 加入电阻  $R_5$ , 利用电阻  $R_5$  产生的压降使  $VT_2$  和  $VT_4$  基极之间存在足够大的电压降。

### 2. 交流电路分析

1) 推动管  $VT_1$  分析。输入信号经  $VT_1$  放大后从集电极输出。 $VT_1$  集电极输出信号直接加到  $VT_4$  基极, 同时通过已处于导通状态的  $VD_1$  和  $R_5$  加到  $VT_2$  基极, 由于  $VD_1$  导通后内阻小,  $R_5$  阻值也很小, 这样加到  $VT_2$  和  $VT_4$  基极上的信号可以认为大小一样。

2) 正半周信号分析。 $VT_1$  集电极输出正半周信号期间, 使  $VT_2$  和  $VT_3$  导通、放大,  $VT_4$  和  $VT_5$  截止。

3) 负半周信号分析。 $VT_1$  集电极输出负半周信号期间, 使  $VT_4$  和  $VT_5$  导通、放大,  $VT_2$  和  $VT_3$  处于截止状态。

4) 信号合成分析。两只复合管输出的信号, 通过输出端耦合电容  $C_5$  加到扬声器  $BL_1$  中, 在

BL<sub>1</sub> 中得到一个完整的信号。

5) 信号传输过程分析。输入信号  $U_i \rightarrow C_1$  (耦合)  $\rightarrow$  VT<sub>1</sub> 管基极  $\rightarrow$  VT<sub>1</sub> 管集电极 (推动放大)  $\rightarrow$  VT<sub>2</sub> 管基极 (通过导通的 VD<sub>1</sub> 和阻很小的  $R_5$ )、VT<sub>4</sub> 管基极  $\rightarrow$  VT<sub>2</sub>、VT<sub>3</sub> 管发射极 (射极输出器, 电流放大) 放大半周信号和 VT<sub>4</sub>、VT<sub>5</sub> 管放大另半周信号  $\rightarrow C_5$  (输出端耦合电容)  $\rightarrow$  BL<sub>1</sub>  $\rightarrow$  地线。

### 3. 电路启动过程分析

接通直流工作电源瞬间,  $+U$  经  $R_2$  和  $R_3$  给 VT<sub>2</sub> 基极提供偏置电压, 使 VT<sub>2</sub> 导通, 其发射极直流电压加到 VT<sub>3</sub> 基极, VT<sub>3</sub> 导通, 其发射极输出电压经  $R_9$ 、RP<sub>1</sub> 和  $R_1$  分压后加到 VT<sub>1</sub> 基极, 给 VT<sub>1</sub> 提供静态直流偏置电压, VT<sub>1</sub> 导通。

VT<sub>1</sub> 导通后, 其集电极电压下降, 也就是 VT<sub>4</sub> 基极电压下降, 使 VT<sub>4</sub> 也处于导通状态, VT<sub>5</sub> 导通, 这样电路中的 5 只晶体管均进入导通状态, 电路完成启动过程。

### 4. 电路中元器件作用分析

$C_1$  为输入端耦合电容,  $C_4$  为 VT<sub>1</sub> 发射极旁路电容,  $C_5$  为输出端耦合电容。 $C_3$  为 VT<sub>1</sub> 高频负反馈电容, 用来消除放大器自激和抑制放大器的高频噪声。 $C_7$  为滤波电容。

$R_6$ 、 $R_9$ 、 $R_8$  和  $R_{10}$  用来减小两只复合管穿透电流。

$R_{11}$  和  $C_6$  构成“茹贝尔”电路, 消除可能出现的高频自激, 改善放大器音质。

阅读完成时间: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日, 用时 \_\_\_\_\_ 天。

签 名: \_\_\_\_\_

阅读体会: (请写 10 个收获最大的知识点关键词)

阅读困惑: (请写 10 个最难理解的知识点关键词)

## 图解振荡器

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日  
本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！



### 重要提示

所谓振荡器就是不需要外电路输入信号，自身能够产生某种信号的电路，正弦波振荡器是能够产生正弦信号的电路。

### 12.1

### 图解正弦波振荡器

本节阅读建议：仔细阅读，全面掌握正弦波振荡器电路工作原理。  
本节难度系数：6级。在掌握放大器、反馈电路和LC振荡电路工作原理后难度会大幅下降。  
本节记忆系数：7级。  
正弦波振荡器是众多振荡器电路中常见的一种。  
许多电子电器中都用到了各种形式的振荡器，其中大多数是正弦波振荡器，例如收音机中本机振荡器、录音机中的超音频振荡器、彩电中的副载波压控振荡器，以及各种仪表中的振荡电路应用等。



### 重要提示

用于各种场合下的振荡器，由于所要求的振荡频率等不同，具体的电路形式也有许多，正弦波振荡器是各种振荡器的基础。

#### ★12.1.1 初步了解正弦波振荡器

##### 1. 框图

如图12-1所示是正弦波振荡器组成框图，从图中可以看出，它主要由放大器及稳幅环节、正反馈电路和选频电路组成。  
从框图中看出，振荡器没有输入信号，但有输出信号，这是振荡器电路的一个明显特征，这一特征在整机电路分析中很重要，有助于分辨哪是振荡器电路，因为其他电路都是有输入信号的。

##### 2. 各单元电路作用

关于振荡器各单元电路作用说明如下：  
1) 放大及稳幅电路。这一电路首先是放大振荡信号，其次是稳定振荡信号的幅度。

2) 选频电路。这一电路作用用来从众多频率信号中选出所需要的某一频率信号,使振荡器中的放大器只放大这一频率信号,而不放大其他频率信号。

3) 正反馈电路。这一电路的作用是从放大器输出端向输入端送入振荡信号,使放大器中的振荡信号幅度越来越大。

### 3. 振荡器电路工作

要使正弦波振荡器电路能够正常工作,必须具备以几个条件。

1) 放大条件。振荡器电路中的振荡管对振荡信号要有放大能力,只有通过正反馈和放大电路,信号才能不断增大,实现振荡。

2) 相位条件。相位条件具体地讲是要求有正反馈电路,由于是正反馈,从振荡器输出端反馈到振荡器输入端的信号加强了原输入信号,即反馈信号与原输入信号是同相位的关系,这样负反馈信号进一步加强了振荡器原先的输入信号。

相位条件和放大条件(也称幅度条件)是振荡器电路必不可少的两个条件,也是最基本的两个条件。

3) 振荡稳幅。振荡器中的正反馈和放大环节对振荡信号具有越反馈、放大,振荡信号越大的作用,若没有稳幅环节振荡信号的幅度是越来越大的,显然这是不可能的,也是不允许的,稳幅环节要稳定振荡信号的幅度,使振荡器输出的信号是等幅的。

4) 选频电路。振荡器要求输出某一特定频率的信号,这就靠选频电路来实现。这里值得一提的是,在正弦波振荡器中常用  $LC$  谐振选频电路,而在  $RC$  振荡器电路中通过  $RC$  电路等来决定振荡频率。

### 4. 正弦波振荡器种类

正弦波振荡器种类很多,以下几种是常用的正弦波振荡器电路。

- 1)  $RC$  移相式正弦波振荡器。
- 2) 采用  $RC$  选频电路的正弦波振荡器。
- 3) 变压器耦合正弦波振荡器。
- 4) 电感三点式正弦波振荡器。
- 5) 电容三点式正弦波振荡器。
- 6) 差动式正弦波振荡器等等。

### 5. 了解稳幅原理

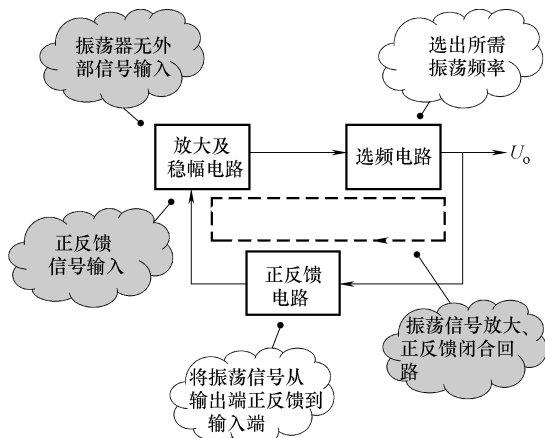
对稳幅原理只要了解即可,不必对每一个具体电路进行分析。

稳幅原理是:在正反馈和振荡管放大的作用下,信号幅度增大,导致振荡管的基极电流也增大,当基极电流大到一定程度之后,基极电流的增大将引起振荡管的电流放大倍数  $\beta$  减小,振荡信号电流越大  $\beta$  越小,最终导致  $\beta$  很小,使振荡器输出信号幅度减小,即振荡管基极电流减小,  $\beta$  又增大,振荡管又具备放大能力,使振荡信号再次增大,这样反复循环总有一点是动平衡的,此时振荡信号的幅度处于不变状态,达到稳幅的目的。

### 6. 了解起振原理

振荡器的起振原理也是只要了解即可,不必对每一个电路都进行分析。

起振原理是:在分析正反馈过程时,假设某瞬间振荡管的基极信号电压为正,其实振荡器是没





有外部信号输入的，而是靠电路本身自激产生振荡信号。

当开始振荡时的振荡信号是这样产生的，在振荡器电路的电源接通瞬间，由于电源电流的波动，这一电流波动中含有频率振荡范围很宽的噪声，这其中必有一个频率等于振荡频率的噪声（信号），这一信号被振荡器电路放大和正反馈，信号幅度越来越大，形成振荡信号，完成振荡器的起振过程。

### ★12.1.2 图解 RC 移相式正弦波振荡器

如图 12-2 所示是 RC 移相式振荡器。电路中， $VT_1$  管接成共发射极放大器电路， $VT_1$  为振荡管， $U_o$  是这一振荡器的输出信号，为正弦信号。

#### 1. 直流电路

电路中的电阻  $R_3$  和  $R_4$  构成  $VT_1$  管的分压式偏置电路， $R_5$  是  $VT_1$  管的集电极负载电阻， $R_6$  是  $VT_1$  管的发射极电阻， $VT_1$  管具备处于放大状态的直流电路工作条件。 $VT_1$  管工作在放大状态下，这是一个振荡器所必需的。

如图 12-3 所示是振荡管  $VT_1$  直流电流回路示意图。

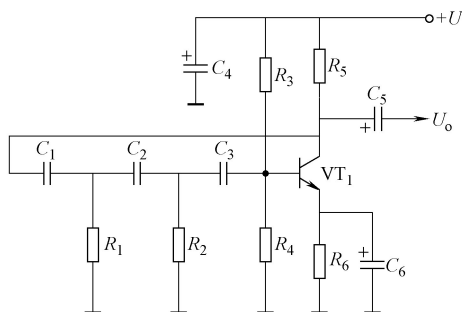


图 12-2 RC 移相式振荡器

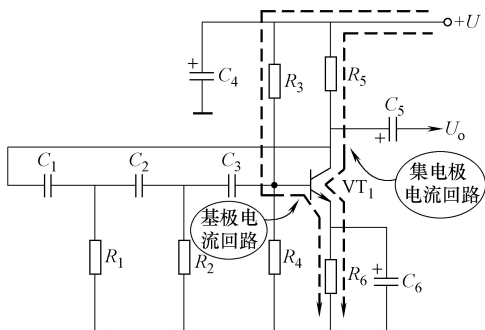


图 12-3 振荡管  $VT_1$  直流电流回路示意图

#### 2. 正反馈电路

无论是什么类型的振荡器，必须存在正反馈环节，这一振荡器电路的正反馈过程是：共发射极放大器电路具有反相的作用，即输出信号电压与输入信号电压之间相位差为  $180^\circ$ ，如若对放大器的输出信号再移相  $180^\circ$  后加到放大器的输入端，那么就移相了  $360^\circ$ ，这样反馈回来的信号与输入信号之间是同相的关系，这是正反馈过程。



#### 电路分析提示

由 RC 移相电路工作特性可知，RC 电路可以对信号进行移相，每一节 RC 移相电路对输入的相位移最大为  $90^\circ$ ，但此时输出信号电压已经为零了，就不能满足振荡的幅度条件了，因此最大移相量不能采用  $90^\circ$ ，所以要再移相  $180^\circ$ ，必须至少要三节 RC 移相电路。

电路中的电容  $C_1$  和电阻  $R_1$  构成第一节 RC 超前移相式电路，如图 12-4 所示是 RC 移相电路示意图， $C_2$  和  $R_2$  构成第二节 RC 移相电路， $C_3$  和放大器输入电阻（由于  $R_3$ 、 $R_4$  和  $VT_1$  管的输入电阻并联）构成第三节 RC 移相电路。

这三节 RC 移相电路对信号移相  $180^\circ$ ，加上  $VT_1$  管共发射极放大器电路本身的  $180^\circ$  移相，使  $VT_1$  管集电极经三节 RC 移相电路后加到  $VT_1$  管基极上的信号相位与基极上原信号相位相同，所以这是正反馈过程，满足相位正反馈条件。

#### 3. 振荡过程

如图 12-5 所示为振荡信号相位示意图，设振荡信号相位在  $VT_1$  管基极为正，经  $VT_1$  管倒相放

大 ( $VT_1$  管接成共发射极放大器, 其集电极信号电压与基极信号电压相反), 这一振荡信号加入三节  $RC$  移相电路, 对信号再移相  $180^\circ$ , 使反馈信号电压相位与  $VT_1$  管基极上输入信号电压相位之间同相, 符合振荡的相位条件。

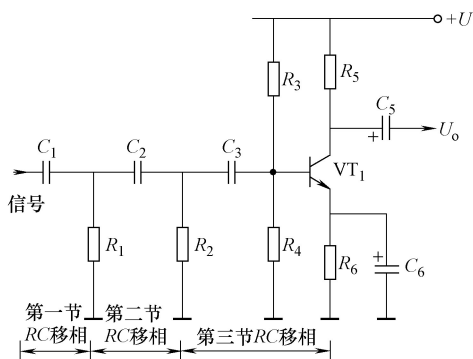


图 12-4  $RC$  移相电路示意图

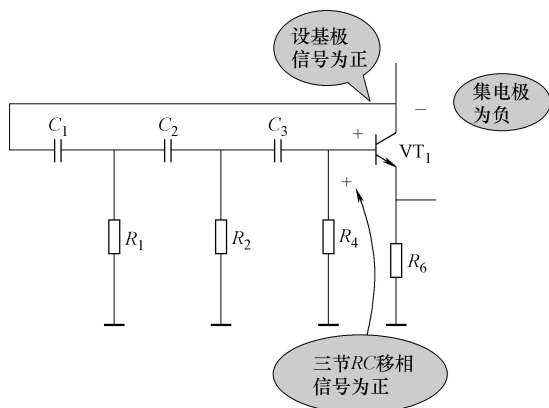


图 12-5 振荡信号相位示意图

实际上, 晶体管  $VT_1$  移相  $180^\circ$ , 三节  $RC$  移相电路累计移相  $180^\circ$ , 这样共移相  $360^\circ$ , 为正反馈。如图 12-6 所示是移相示意图。

同时,  $VT_1$  管本身具有放大能力, 这样又符合幅度条件, 振荡器便能振荡。振荡信号是从  $VT_1$  管的集电极输出, 通过耦合电容  $C_5$  送出振荡器。

#### 4. 电路分析小结

关于这种  $RC$  移相式振荡器分析主要说明以下几点:

- 1) 电路中只采用一级共发射极放大器, 对信号已经产生了  $180^\circ$  的移相, 这是由共发射极放大器特性决定的。
- 2) 这种振荡器中, 最少要用三节  $RC$  超前移相式电路, 要了解  $RC$  移相式电路的工作原理, 并要了解这种移相电路最大有效移相量小于  $90^\circ$ , 所以只有三节才行。
- 3) 三节  $RC$  移相电路中, 第一节先对频率为  $f_0$  的信号移相一定相位, 第二节是在第一节已经移相的基础上再移相, 第三节也是这样, 三节累计移相恰好为  $180^\circ$ 。三节  $RC$  移相电路只是对频率为  $f_0$  的信号移相  $180^\circ$ , 对于其他频率信号由于频率不同, 三节  $RC$  移相电路的移相量不等于  $180^\circ$ , 或大于  $180^\circ$ , 这样就不能满足振荡的相位条件, 也就是只有频率为  $f_0$  的信号才能发生振荡。

在这种振荡器电路中, 当  $C_1 = C_2 = C_3$ ,  $R_1 = R_2$  且远大于  $VT_1$  放大器输入电阻时, 这一振荡器的振荡频率由下式决定:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6R_1C_1}}$$

$RC$  移相式振荡器的振荡频率一般低于  $200\text{kHz}$ 。

- 4) 这种振荡器的电路结构比较简单、成本低, 缺点是选择性较差, 输出信号也不稳定, 振荡频率不宜调整。

### ★12.1.3 图解变压器耦合正弦波振荡器

如论哪种振荡器, 电路分析就是放大器部分、选频部分、正反馈电路部分, 而放大器部分与普

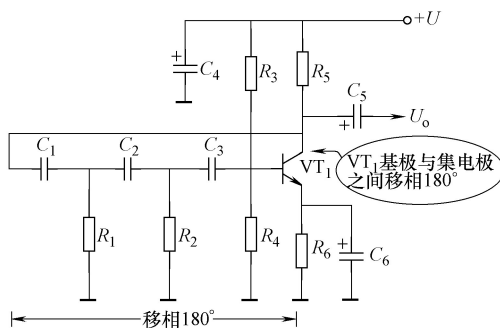


图 12-6 移相示意图





通放大器电路分析一样。

如图 12-7 所示是采用变压器耦合正弦波振荡器。电路中,  $VT_1$  为振荡管,  $T_1$  为振荡变压器,  $L_2$  和  $C_2$  构成  $LC$  谐振选频电路,  $U_o$  为振荡器的输出信号。

### 1. 直流电路

1)  $VT_1$  管偏置电路。电路中, 直流工作电压  $+U$  经  $T_1$  的  $L_2$  线圈加到  $VT_1$  管集电极。  $RH_1$ 、 $R_1$  和  $R_2$  对  $+U$  分压后的电压加到  $VT_1$  的基极, 建立  $VT_1$  管的直流偏置电压。如图 12-8 所示是振荡管  $VT_1$  直流电流回路示意图。

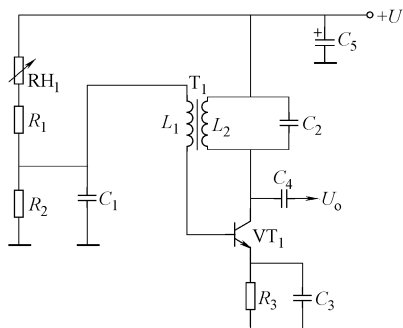


图 12-7 变压器耦合正弦波振荡器

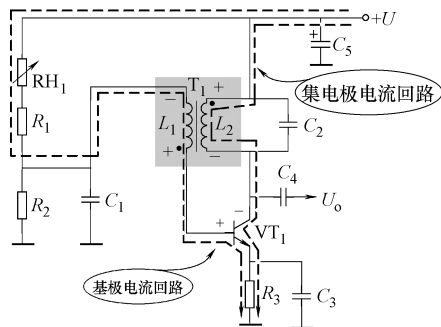


图 12-8 振荡管  $VT_1$  直流电流回路示意图

$R_3$  为  $VT_1$  管的发射极电阻。这样,  $VT_1$  管具备放大所需要的直流工作条件。

2)  $RH_1$  作用。调节  $RH_1$  可改变  $VT_1$  管的静态直流偏置电流大小, 从而可改变振荡器输出信号  $U_o$  的大小。电阻  $R_1$  是保护电阻, 防止  $RH_1$  的阻值调得太小时, 使振荡管的工作电流太大而损坏  $VT_1$  管。

在加了  $R_1$  之后, 即使  $RH_1$  的阻值被调到为零, 也有  $R_1$  限制  $VT_1$  管的基极电流不是很大, 达到保护  $VT_1$  管的目的。

### 2. 正反馈电路

电路中,  $T_1$  是振荡耦合变压器, 用它来完成正反馈。从图中可以看出,  $T_1$  的一次线圈  $L_1$  (正反馈线圈) 接在  $VT_1$  管的输入回路中 (基极回路), 它的二次线圈接在  $VT_1$  管的输出回路中 (集电极回路)。 $T_1$  的同名端见图中黑点所示。

这一电路正反馈过程是: 假设振荡信号电压某瞬间在  $VT_1$  管基极为  $+$  ( $+$  表示信号电压增大), 使  $VT_1$  管基极电流增大, 则集电极信号电压为  $-$  ( $-$  表示信号电压减小), 如图 12-9 所示, 这是因为  $VT_1$  管接成共发射极放大状态, 集电极信号电压相位与基极信号电压相位相差  $180^\circ$ 。

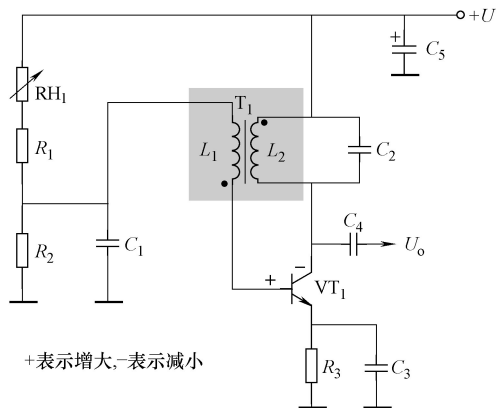


图 12-9 信号相位示意图 (一)

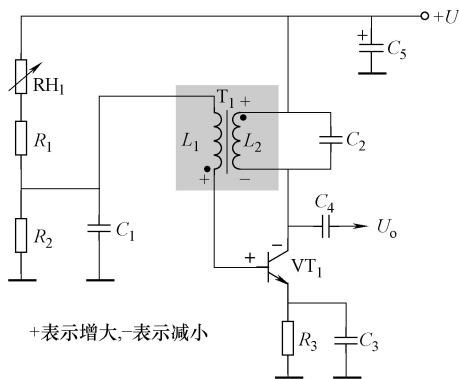


图 12-10 信号相位示意图 (二)

这样  $T_1$  的二次线圈  $L_2$  下端为  $-$ ，上端为  $+$ ，如图 12-10 所示。同时，根据同名端概念（图中黑点表示同名端，信号电压相位相同）， $T_1$  的一次线圈  $L_1$  下端为  $+$ ，与基极极性一致，所以  $L_2$  上的输出信号经  $T_1$  耦合到一次线圈  $L_1$ ，加强了  $VT_1$  管 1 的输入信号，这是正反馈过程。

### 3. 振荡原理

振荡器没有输入信号，振荡器工作后则能输出信号  $U_o$ ，前面在分析正反馈过程中，是假设  $VT_1$  管基极有振荡信号，振荡信号是怎么产生的，这由振荡器的起振原理来说明。

在振荡器的直流工作电压  $+V$  接通瞬间，由于电源接通瞬间  $VT_1$  管中会产生噪声，这一噪声的频率范围很宽，其中含有所需要的振荡信号频率  $f_0$ 。由于  $VT_1$  管中的噪声（此时作为信号）被  $VT_1$  放大，经正反馈，噪声又馈入  $VT_1$  管的基极，再次放大和再次正反馈， $VT_1$  管中的振荡信号便产生了。

### 4. 选频电路

电路中的  $L_2$  和  $C_2$  构成  $LC$  并联谐振电路（电路中只有这一个  $LC$  并联谐振电路），如图 12-11 所示，该电路的谐振频率便是振荡信号频率  $f_0$ 。

从电路中可以看出， $L_2$  和  $C_2$  并联谐振电路是  $VT_1$  管的集电极负载电阻，由于并联谐振时该电路的阻抗最大，所以  $VT_1$  管的集电极负载电阻最大， $VT_1$  管对频率为  $f_0$  信号的放大倍数最大。

对于  $f_0$  之外的其他频率信号，由于  $L_2$  和  $C_2$  的失谐，电路阻抗很小， $VT_1$  管的放大倍数很小，这样输出信号  $U_o$  是以频率为  $f_0$  的振荡信号，达到选频目的。

电路中， $C_1$  是振荡信号旁路电容，将  $L_1$  上端振荡信号交流接地， $L_1$  耦合过来的正反馈信号要馈入  $VT_1$  管的输入回路，这一回路为  $L_1$  下端  $\rightarrow VT_1$  管基极  $\rightarrow VT_1$  管发射极  $\rightarrow$  发射极旁路电容  $C_3 \rightarrow$  地端  $\rightarrow$  旁路电容  $C_1 \rightarrow L_1$  上端，成回路，如图 12-12 所示是正反馈回路示意图。

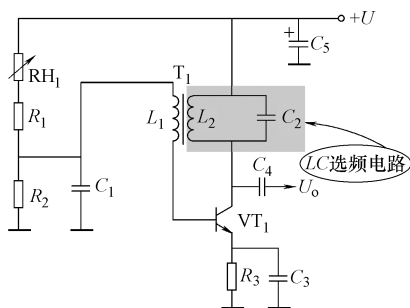


图 12-11 选频电路示意图

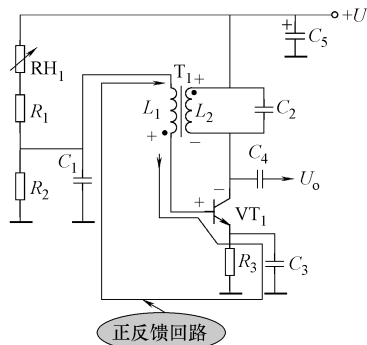


图 12-12 正反馈回路示意图

### 5. 电路分析小结

1) 要注意振荡变压器的同名端概念，在有些电路中振荡变压器不标出表示同名端的黑点，此时分析正反馈过程时可认为反馈的结果是正反馈，只要分析出正反馈信号传输过程即可。

2) 在振荡器中，容量最小的电容器是谐振电容，正反馈耦合电容的容量其次，旁路电容的容量最大，利用这一特征可以帮助识别电路中的谐振选频电路。

3) 调整  $RH_1$  的阻值大小，可改变振荡管  $VT_1$  的静态工作电流，从而可以改变振荡输出信号的大小。

4) 这种振荡器的振荡输出信号是从振荡变压器的二次线圈输出的。

### 6. 变压器耦合振荡器电路特点

1) 需要一个耦合变压器。

2) 适合于频率较低的场合下使用（几十千赫到几兆赫），通常只用在几十千赫左右。

3) 由于采用了变压器可以进行阻抗的匹配，故输出信号电压较大，但在使用变压器时接线要注意，一次或二次线圈的头尾引线接反了将不能产生正反馈（变为负反馈），不能振荡。



4) 变压器耦合振荡器电路也有多种,按振荡管的接法有共集电极耦合振荡、共发射极耦合振荡和共基极耦合振荡电路,这几种振荡电路其工作原理基本一样。

★12.1.4 图解电感三点式正弦波振荡器

如图 12-13 所示是电感三点式正弦波振荡器。这一电路中,  $VT_1$  是振荡管,  $T_1$  的一次线圈是振荡线圈,  $U_o$  是振荡器输出信号, 由变压器  $T_1$  的二次侧输出。

1. 电路识别方法

这是一个电感三点式正弦波振荡器电路, 这种振荡器电路中的振荡电感在电路中的接法比较特殊, 利用这一点可以识别这种振荡器电路。

从电路中可以看出,  $T_1$  一次线圈  $L_1$  有个抽头, 它的三个引脚分别与振荡管  $VT_1$  的三个电极交流相连, 如图 12-14 所示, 它的上端引脚与集电极直接相连, 它的下端引脚经振荡耦合电容  $C_2$  与  $VT_1$  管的基极交流相连, 它的抽头与  $+U$  端相连, 而  $+U$  端相当于交流接地, 这样经电容  $C_3$  与  $VT_1$  管发射极交流相连。

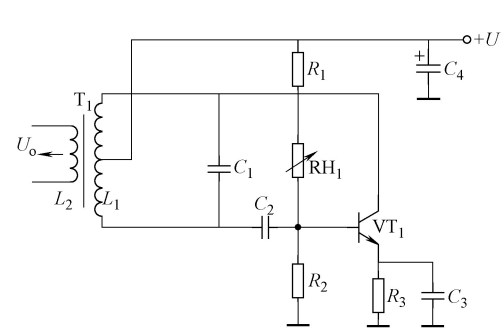


图 12-13 电感三点式正弦波振荡器

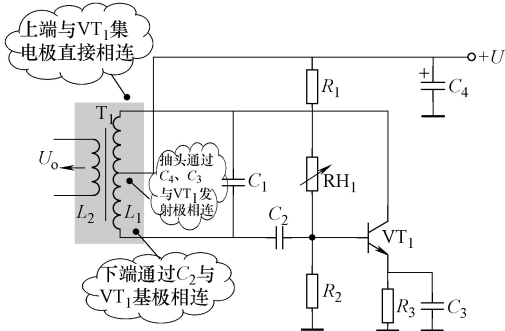


图 12-14 示意图

由于振荡电感  $T_1$  的一次线圈三个引脚分别与  $VT_1$  管的三个电极相连, 所以将这种电路称之为电感三点式振荡器电路。在这种振荡器电路中, 振荡电感必须有抽头。

2. 直流电路分析

如图 12-15 所示是振荡管直流电流回路示意图。直流工作电压  $+U$  经  $T_1$  的一次线圈  $L_1$  抽头及抽头以上线圈加到  $VT_1$  管的集电极,  $R_1$ 、 $RH_1$  和  $R_2$  构成  $VT_1$  管的基极分压式偏置电路,  $R_3$  为  $VT_1$  管的发射极电阻。这样,  $VT_1$  管具备了放大能力。

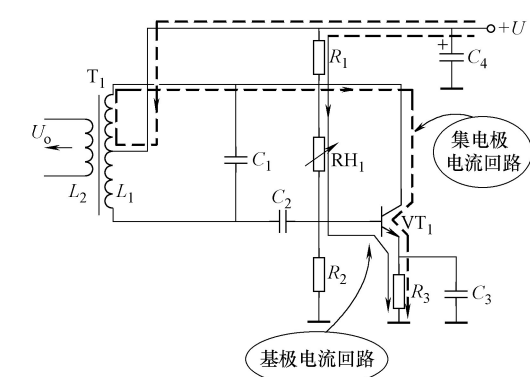


图 12-15 振荡管直流电流回路示意图

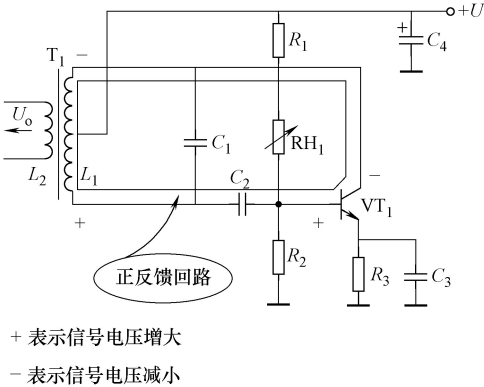


图 12-16 正反馈回路示意图

### 3. 正反馈过程分析

如图 12-16 所示是正反馈回路示意图。假设振荡信号电压某瞬间在  $VT_1$  管基极为  $+$ ，经  $VT_1$  管放大和倒相后，其集电极上信号电压极性为  $-$ ，即  $T_1$  一次线圈上端为  $-$ 。

由于  $T_1$  一次线圈的抽头接  $+U$  端， $+U$  相当于交流接地，在它的下端信号电压极性为  $+$ ，经  $C_2$  耦合到  $VT_1$  管基极，与基极极性相同，加强了输入信号，所以这是正反馈过程。

### 4. 振荡原理

在接通电源  $+U$  后，电路起振，通过正反馈、放大和稳幅环节，振荡器稳定工作。

### 5. 选频电路分析

$L_1$  和  $C_1$  构成  $LC$  并联谐振选频电路，如图 12-17 所示，振荡器的振荡频率由  $L_1$  和  $C_1$  并联谐振电路的谐振频率决定。

### 6. 元器件作用分析

电路中的  $C_2$  是正反馈耦合电容，将  $T_1$  的一次线圈上正反馈信号耦合到  $VT_1$  管基极。 $C_2$  容量大，振荡器容易起振。另外， $C_2$  具有隔直作用，将  $VT_1$  管集电极和基极上的直流电压隔开。

$C_3$  为振荡管  $VT_1$  的发射极旁路电容，将发射极交流接地。振荡器输出信号取自  $T_1$  的二次线圈， $T_1$  在这里起耦合作用。

### 7. 电路分析说明

1) 正反馈信号的反馈传输线路与变压器耦合振荡器电路不同，正反馈信号只在一次线圈中传输，二次线圈不参与正反馈信号的传输。

2) 振荡线圈一定是有抽头的，振荡线圈的三根引脚或是直接与振荡管某个电极相连，或是通过电容相连，要注意直流电源  $+U$  对交流而言是接地的。

3) 分辨这种电路中的振荡线圈比较容易，带抽头的是振荡线圈，与该线圈相并联的是谐振电容，振荡电感和谐振电容构成  $LC$  并联谐振选频电路。

4) 带抽头的  $L_1$  是一次线圈，因为集电极电流流过  $L_1$  二次线圈， $L_2$  中才有振荡信号输出。

### 8. 电感三点式正弦波振荡器电路特点

1) 振荡频率一般，可以做到几十兆赫。

2) 电路容易起振。

3) 频率调整比较方便，只要将电感  $L_1$  中加入磁心，调整磁位置就能改变  $L_1$  的电感量，就能改变选频电路的谐振频率，从而可以改变振荡频率。

4) 正反馈信号取自  $L_1$  抽头与下端之间的一段线圈上，由于电感不能将高次谐波抑制掉，所以振荡器输出信号中高次谐波成分较多。

5) 电感三点式振荡器电路按照振荡管的接法不同也有多种，可以是发射极交流接地式电路、基极交流接地式等电路，它们的工作原理基本一样。

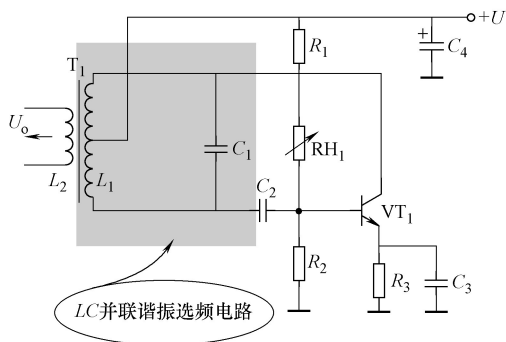


图 12-17 选频电路示意图

## ★12.1.5 图解电容三点式正弦波振荡器

电容三点式正弦振荡器电路又称考毕茨振荡器电路。

如图 12-18 是电容三点式正弦振荡器的一种变形电路。电路中的  $VT_1$  是振荡管， $C_6$  是输出端耦合电容， $L_1$  和  $C_5$ 、 $C_4$ 、 $C_3$ 、 $C_2$  构成  $LC$  并联谐振选频电路。 $C_1$  是  $VT_1$  管的集电极旁路电容，将  $VT_1$  管集电极交流接地。

### 1. 振荡器类型识别方法

电容三点式正弦波振荡器中，有两只电容串联，即电路中的  $C_2$  和  $C_3$  串联，这两只串联电容器



后共有三个接点，这三个接点分别与振荡管的三个电极相连，如图 12-19 所示，这是这种振荡器的特点，以此可以分辨出是电容三点式振荡器电路。

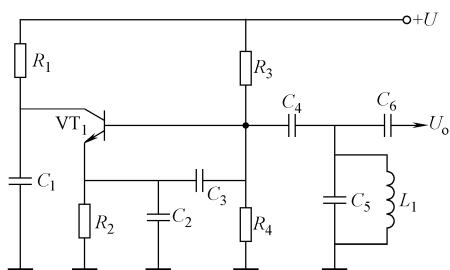


图 12-18 电容三点式正弦振荡器

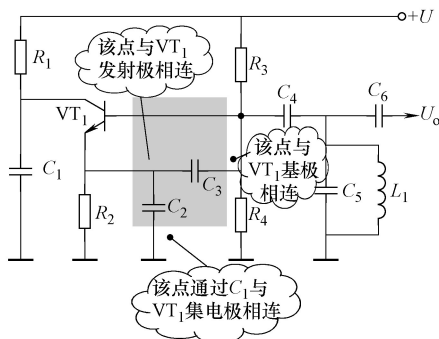


图 12-19 示意图

见电路中  $C_3$  的一端与  $VT_1$  管基极直接相连， $C_2$  和  $C_3$  连接点与  $VT_1$  管的发射极直接相连， $C_2$  的下端是接地的，而  $VT_1$  管的集电极是通过旁路电容  $C_1$  交流接地的，这样  $C_2$  的下端引脚是与  $VT_1$  管集电极交流相连的，可见  $C_2$  和  $C_3$  的三个接点是与振荡管  $VT_1$  的三个电极相连。

## 2. 直流电路分析

直流工作电压  $+U$  经  $R_1$  给  $VT_1$  管集电极加上直流工作电压， $R_3$ 、 $R_4$  分压后给  $VT_1$  管建立基极偏置电压， $R_2$  是  $VT_1$  管发射极电阻。如图 12-20 所示是振荡管  $VT_1$  直流电流回路示意图。

## 3. 正反馈电路分析

如图 12-21 所示是正反馈回路示意图。假设某瞬间振荡管  $VT_1$  基极上振荡信号极性为  $+$ （使振荡管基极电流增大），则  $VT_1$  管集电极为  $-$ ，经  $C_1$  旁路到地端为  $-$ ，这一极性为  $-$  的反馈信号电压经  $C_2$  和  $C_3$  分压后加到  $VT_1$  管发射极（或认为反馈信号从  $C_2$  加到  $VT_1$  管发射极），其反馈信号极性仍为  $-$ 。由于发射极电压为  $-$ ，使  $VT_1$  管基极电流更大，这是正反馈过程。

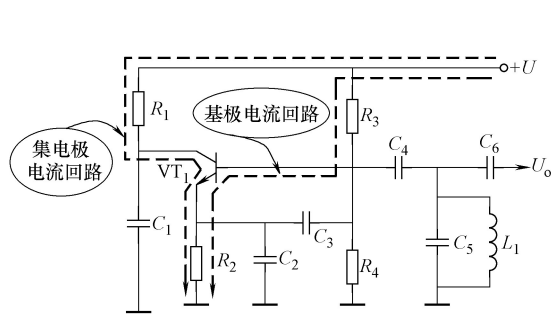


图 12-20 振荡管  $VT_1$  直流电流回路示意图

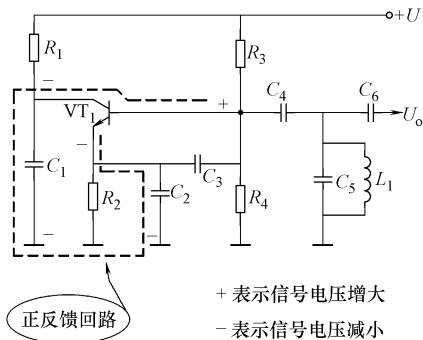


图 12-21 正反馈回路示意图

$C_2$ 、 $C_3$  的容量相对大小可以决定正反馈的强弱，以满足振荡的幅度条件。在一些振荡频率较高的电路中，将  $C_3$  省掉，而是用  $VT_1$  管基极和发射极之间发射结电容来代替  $C_3$ ，在分析时要注意这一点。

## 4. 振荡原理及选频电路分析

这一振荡器的振荡原理同前面介绍的基本一样，这里主要说明选频电路的工作原理。选频电路由  $C_4$ 、 $C_3$ 、 $C_2$  串联之后与  $C_5$  并联，再与  $L_1$  并联构成  $LC$  并联谐振选频电路，如图 12-22 所示是  $LC$  并联谐振选频电路示意图。

### 选频理解方法提示

这一  $LC$  并联谐振电路接在振荡器输出端与地之间，设该电路的谐振频率为  $f_0$ ，在谐振时该电路阻抗最大，对输出信号分流衰减很小，而当该电路失谐时此电路阻抗很小，对地分流衰减严重，使  $VT_1$  管基极上的信号很小，这样只有频率为  $f_0$  的信号在  $VT_1$  管基极上的幅度为最大， $VT_1$  管的放大最大，达到选频的目的。

### 5. 电容 $C_4$ 作用

在典型的电容三点式振荡器电路中， $C_4$  容量取得较大，若  $C_4$  远大于  $C_2$ 、 $C_3$  的容量，那么  $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$  的串联后总容量主要取决于  $C_2$ 、 $C_3$ ， $C_4$  对谐振频率影响很小，这样的电路称之为“考毕茨电路”。

由于  $C_2$ 、 $C_3$  容量较小， $VT_1$  管的极间电容会影响振荡频率，造成振荡频率不稳定，为此将  $C_4$  的容量取值较小，这样  $C_4$  在决定振荡频率上的影响将占重要位置，可以克服晶体管极间电容的影响，使振荡频率比较稳定，这种  $C_4$  取值较小的电路是考毕茨电路的变形电路，称之为“锡拉”电路。

### 6. 另一种电容三点式振荡器变形电路

如图 12-23 所示是另一种电容三点式振荡器变形电路。这一电路的工作原理同前面基本一样，只是将克服振荡管参数变化而影响振荡频率稳定的小电容  $C_3$  与  $L_1$  相串联，这样  $C_3$  的容量大小对振荡频率起重要影响，减小了振荡管极间电容对振荡频率的影响。

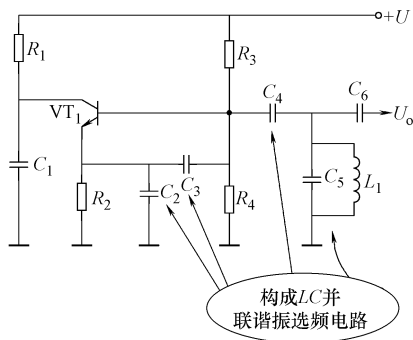


图 12-22  $LC$  并联谐振选频电路示意图

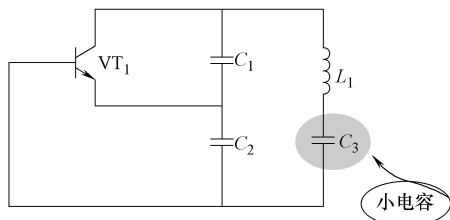


图 12-23 另一种电容三点式振荡器变形电路

### 7. 电路分析小结

1) 这种振荡器的电路特点是两只振荡电容与振荡管的三个电极相连，从振荡管的三个电极出发可以找到这两只振荡电容，这是找出振荡电容的方法。

2) 在  $LC$  选频电路中的电容不一定只有两只，可以多于两只，凡是与振荡电感相并联的电容都有可能是振荡电容，但注意若某只电容器的容量比其他电容器大得多时，说明该电容不是振荡电容，而是耦合电容，注意电路图中电容的标称容量在这里就显得很重要。

3) 注意电容三点式振荡器的两种变形电路，记住它们的电路变形特征。

### 8. 电容三点式振荡器电路特点

1) 振荡频率可以做得很高。但是，如若需要在较大范围内调节振荡频率，这种电路则不太适合，一般只用于振荡频率要求固定的场合。

2) 正反馈主要是通过电容，频率高容抗小，反馈弱，所以振荡产生的高次谐波少，波形比较好。

3) 在要求振荡频率比较高时，常用变形电路。

## ★12.1.6 图解差动式振荡器

如图 12-24 所示是差动式正弦波振荡器电路。电路中， $VT_1$  和  $VT_2$  管是两只振荡管，构成差动





式振荡器电路, 其中  $VT_1$  管基极因旁路电容  $C_1$  而接成共基极电路,  $VT_2$  管接成共集电极电路, 两管构成共集—共基的反馈放大器。

### 1. 振荡器类型识别方法

差动式振荡器电路中有两只振荡管, 但不是有两只振荡管的电路都是差动式振荡器, 如推挽式振荡器电路中也有两只振荡管。

当两只振荡管是接成共基—共集放大器电路形式时, 则是差动式振荡器电路。

### 2. 直流电路分析

1)  $VT_1$  管直流电路分析。如图 12-25 所示是  $VT_1$  管直流电流回路示意图。直流工作电压  $+U$  经  $R_7$ 、 $R_3$  加到  $VT_1$  管集电极, 其中  $R_3$  是  $VT_1$  管的集电极负载电阻,  $R_7$  是退耦电阻 ( $C_5$  是退耦电容)。  $R_1$ 、 $R_2$  分压后给  $VT_1$  管加上基极偏置电压,  $R_4$  是  $VT_1$  管的发射极电阻。

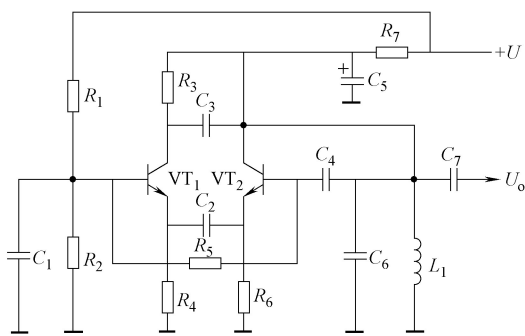


图 12-24 差动式正弦波振荡器电路

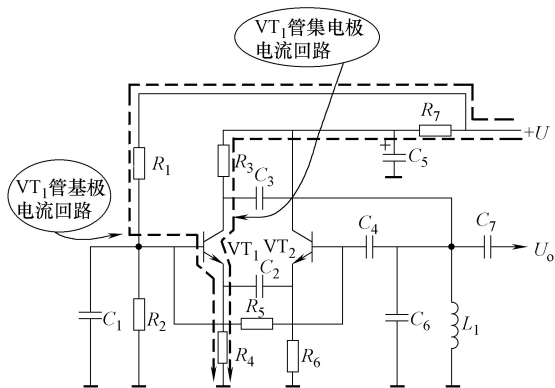


图 12-25  $VT_1$  管直流电流回路示意图

2)  $VT_2$  管直流电路分析。如图 12-26 所示是  $VT_2$  管直流电流回路示意图。 $VT_2$  管的集电极电压直接取自  $R_7$  送来的直流工作电压  $+U$ ,  $R_5$  将  $VT_1$  管基极上的电压加到  $VT_2$  管基极, 建立  $VT_2$  管的基极偏置电压。 $R_6$  是  $VT_2$  管的发射极电阻。

这样,  $VT_1$  和  $VT_2$  管都有了进入放大和振荡状态所需要的直流工作条件。

### 3. 正反馈过程分析

这一电路的正反馈原理是: 假设振荡信号某瞬间在  $VT_2$  管基极极性为  $+$ , 则有下列正反馈过程。如图 12-27 所示是正反馈信号回路示意图。 $VT_2$  管基极电压  $\uparrow \rightarrow VT_2$  管发射极电压  $\uparrow \rightarrow VT_1$  管发射极电压  $\uparrow$  (通过正反馈耦合电容  $C_2$ )  $\rightarrow VT_1$  管集电极  $\uparrow$  ( $VT_1$  管接成共基极电路, 发射极和集电极上信号电压同相)  $\rightarrow A$  点电压  $\uparrow$  (通过正反馈耦合电容  $C_3$ )  $\rightarrow VT_2$  管基极电压  $\uparrow$  (通过耦合电容  $C_4$ ), 由此可见这是正反馈过程。

### 4. 振荡原理

上面分析了正反馈过程, 而  $VT_1$  和  $VT_2$  管构成的放大器电路具有放大能力, 所以同时满足了相位和幅度条件, 电路能够振荡。

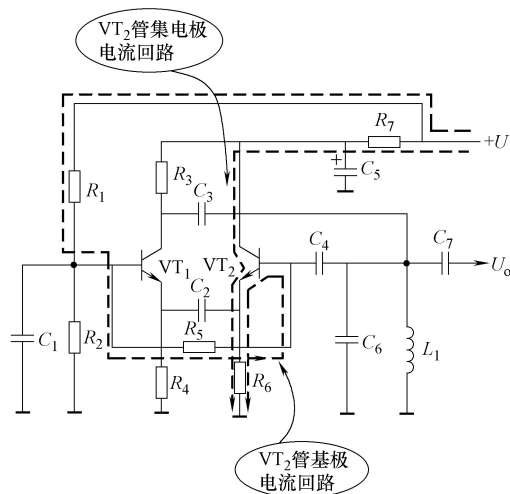


图 12-26  $VT_2$  管直流电流回路示意图

## 5. 阻抗匹配特性好

电路中的  $VT_2$  管接成共集电极电路,  $C_5$  将  $VT_2$  管集电极交流接地。  $VT_1$  管接成共基极电路,  $C_1$  将  $VT_1$  管的基极交流接地,  $VT_1$  管发射极是输入端, 集电极为输出端。

$VT_2$  管接成共集电极电路, 具有输入电阻大、输出电阻小的特点, 而  $VT_1$  管则是共基极电路, 具有输入电阻小、输出电阻大的特点, 这样  $VT_1$  和  $VT_2$  两级间具有良好的阻抗匹配特性。

## 6. 选频电路

如图 12-28 所示是选频电路示意图。选频电路由  $L_1$  和  $C_6$  构成, 该电路通过  $C_7$ 、 $C_4$  与  $VT_2$  管基极相耦合。

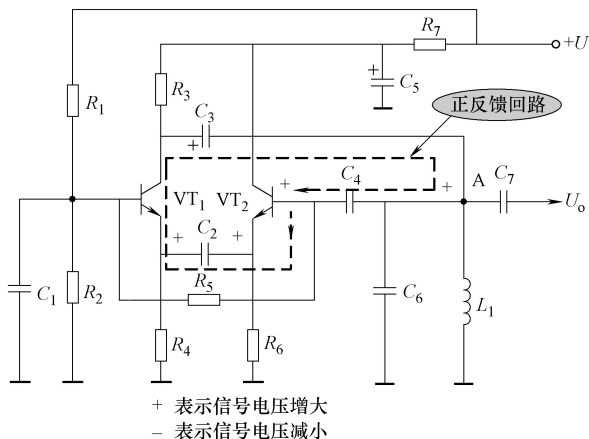


图 12-27 正反馈信号回路示意图

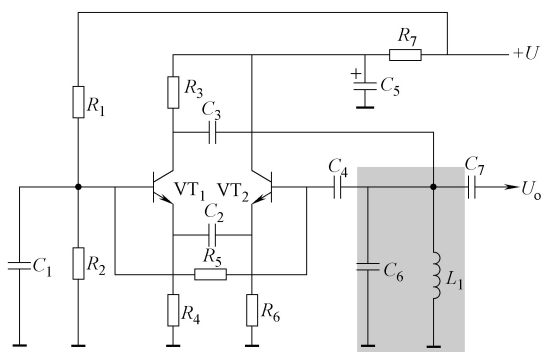


图 12-28 选频电路示意图

### 选频理解方法提示

电路的选频原理可以这么理解：设  $L_1$  和  $C_6$  谐振频率为  $f_0$ ，则  $C_3$  正反馈到  $VT_2$  管基极的  $f_0$  信号因  $L_1$  和  $C_6$  阻抗很大，而绝大部分信号正反馈到  $VT_2$  管基极，保证了振荡的幅度条件。

对于频率偏离  $f_0$  之外的信号，由于  $L_1$  和  $C_6$  失谐，电路阻抗很小， $C_3$  反馈过来的信号被  $L_2$  和  $C_6$  分流到地，而不能加到  $VT_2$  管的基极，使这部分信号的正反馈量大大下降，从而达到取出  $f_0$  振荡信号的目的。

$C_7$  为振荡器输出端耦合电容。

## 7. 电路分析小结

1) 这种振荡器电路的正反馈过程分析在两管电路之间，要了解发射极电压相位与基极电压是同相的，对于共基极放大器电路而言，发射极上的输入信号电压相位与集电极上的输出信号电压相位相同。

2) 了解共基—共集放大器电路中级间阻抗匹配良好。

## 8. 差动式振荡器电路特点

1) 这种振荡器电路具有波形好、谐波成分少、频率稳定优点。

2)  $VT_1$  和  $VT_2$  是两只低噪声管子，对晶体管的频率特性要求并不高。

## ★12.1.7 图解双管推挽式振荡器

如图 12-29 所示是双管推挽式振荡器，也是正弦波振荡器电路中的一种。一般用来 50 ~ 180kHz 的超音频范围内，作为超音频振荡器。电路中， $VT_1$  和  $VT_2$  是振荡管， $T_1$  是振荡变压器， $U_o$  是振荡器输出信号。

## 1. 直流电路分析

直流工作电压经线圈  $L_1$  的抽头及线圈分别加到  $VT_1$  和  $VT_2$  管的集电极, 为两管集电极提供直流电压。

电阻  $R_1$  和  $R_4$  分别是  $VT_1$  和  $VT_2$  管的基极固定式偏置电阻。 $R_2$  和  $R_3$  分别是两管的发射极负反馈电阻。如图 12-30 所示是  $VT_1$  管直流电流回路示意图。

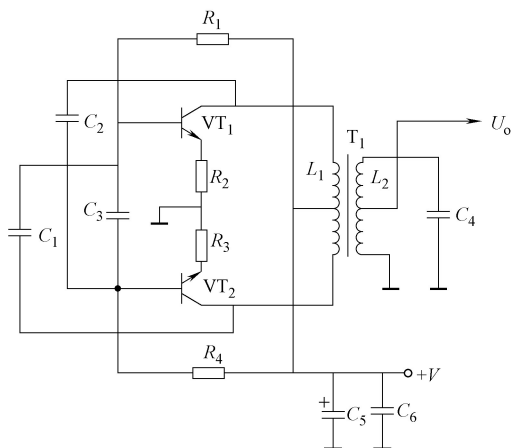
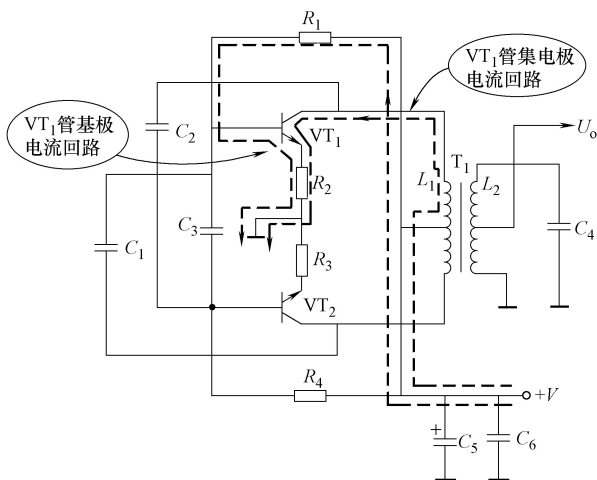


图 12-29 双管推挽式振荡器

图 12-30 VT<sub>1</sub> 管直流电流回路示意图

如图 12-31 所示是 VT<sub>1</sub> 管直流电流回路示意图。

这样,  $VT_1$  和  $VT_2$  管具备了工作在放大和振荡状态所需要的直流工作条件。

## 2. 正反馈过程

这一电路的正反馈过程是：如图12-32所示是正反馈回路示意图，设某瞬间振荡信号在  $VT_1$  管基极的极性为  $+$ ，其集电极为  $-$ ，即线圈  $L_1$  的上端为  $-$ ， $L_1$  的下端为  $+$ ，这一极性反馈信号经电容  $C_1$  耦合，加到  $VT_1$  管基极，使  $VT_1$  管基极信号更大，所以这是正反馈过程。

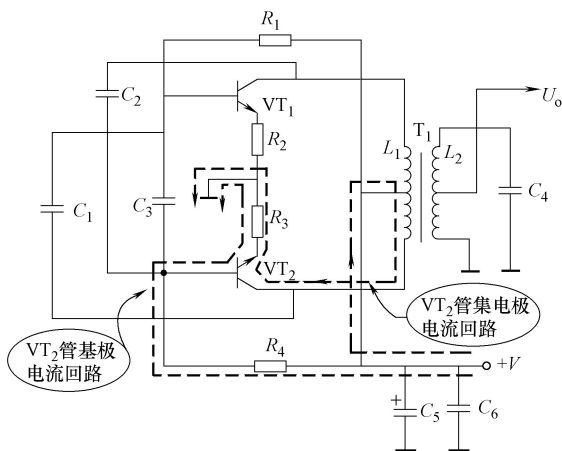
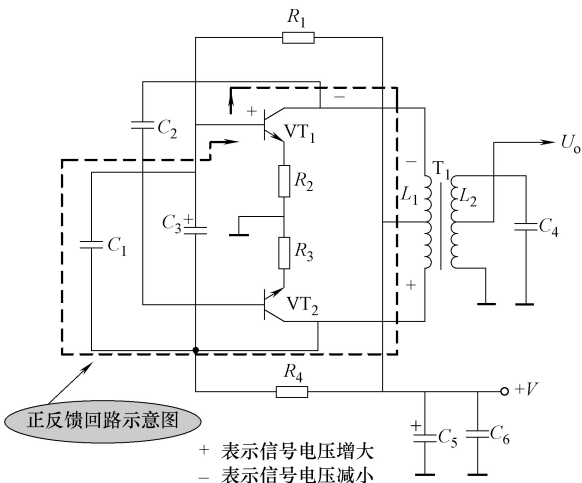
图 12-31 VT<sub>2</sub> 管直流电流回路示意图

图 12-32 正反馈回路示意图

VT<sub>2</sub>管正反馈过程同上, 它的正反馈信号是通过电容  $C_2$  耦合到 VT<sub>2</sub>管基极。

### 3. 振荡原理

上面已分析过  $VT_1$  和  $VT_2$  管都具有正反馈特性, 两管本身又具备放大特性, 这样两管都可以工

作在振荡状态下。

当振荡信号正半周在  $VT_1$  管基极的极性为  $+$  时，其集电极为  $-$ ，这一信号经  $C_2$  加到  $VT_2$  管基极，使  $VT_2$  管基极为  $-$ ， $VT_2$  管处于截止状态，所以振荡信号的正半周使  $VT_1$  管处于放大、振荡状态，而使  $VT_2$  管处于截止状态。

当振荡信号变化到负半周时， $VT_1$  管基极的极性为  $-$ ，其集电极为正，这一信号经  $C_2$  加到  $VT_2$  管基极，使  $VT_2$  管进入放大和振荡状态，此时  $VT_2$  管集电极输出的信号极性为  $-$ ，经  $C_1$  加到  $VT_1$  管基极，使  $VT_1$  管处于截止状态。



#### 电路分析提示

这种振荡器电路中的  $VT_1$  和  $VT_2$  管像推挽功率放大器电路中的功放管一样，一只处于振荡状态时，另一只处于截止状态，振荡信号的正、负半周信号是由两只晶体管合作完成的。两只晶体管的振荡信号电流（各半个周期）流过  $T_1$  的  $L_1$  线圈，通过  $T_1$  从二次线圈  $L_2$  输出，并完成两个半周信号合并成一个完整周期信号的任务。

#### 4. 选频电路分析

如图 12-33 所示是选频电路示意图。电路中的选频电路由  $L_2$  和  $C_4$  构成，这是一个  $LC$  并联谐振电路，设谐振频率信号为  $f_0$ 。在谐振时该电路的阻抗最大，即  $T_1$  二次线圈的阻抗为最大。

$VT_1$  管的集电极负载是  $L_1$  抽头以上线圈， $VT_2$  管的集电极负载是  $L_1$  抽头以下线圈， $L_1$  与  $L_2$  构成一个变压器。

由于  $L_2$  线圈在频率为  $f_0$  时的阻抗最大，这样  $L_1$  线圈在频率为  $f_0$  时的阻抗也为最大，即  $VT_1$  和  $VT_2$  管的集电极负载阻抗在频率为  $f_0$  时最大， $VT_1$  和  $VT_2$  管的放大倍数为最大，所以这一振荡器电路放大和振荡在频率为  $f_0$  的信号，这样从  $L_2$  抽头输出的振荡信号频率为  $f_0$ 。

#### 5. 电路分析小结

关于这一振荡器电路分析还说明以下几点：

- 1)  $R_2$  和  $R_3$  分别是  $VT_1$  和  $VT_2$  管的发射极直流和交流负反馈电路，能够稳定振荡器电路的工作，改善振荡器的输出信号波形，减小了输出信号失真。
- 2) 电容  $C_3$  接在两管基极之间，可以改善振荡信号正、负半周信号的对称性，也就是改善了振荡信号的失真。
- 3)  $L_1$  的抽头是中心抽头，这样  $VT_1$  和  $VT_2$  管的集电极负载阻抗才相等。

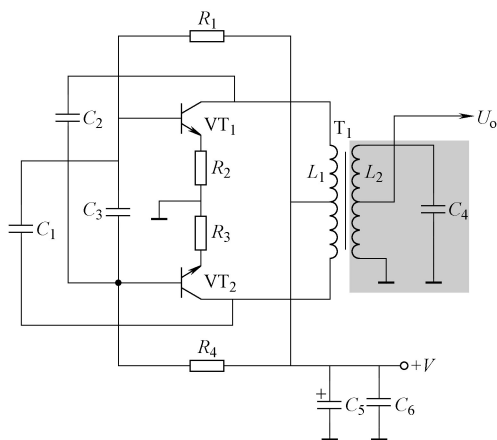


图 12-33 选频电路示意图

## 12.2 图解双稳态、单稳态和无稳态振荡器

本节阅读建议：仔细阅读，全面了解双稳态、单稳态和无稳态振荡器电路工作原理。

本节难度系数：7 级。

本节记忆系数：5 级。

双稳态电路又称为双稳态触发器、双稳态振荡器（bistable multivibrator）。所谓双稳态电路就是这种电路有两个稳定的输出状态。

单稳态电路又称为单稳态触发器、单稳态振荡器（monostable multivibrator）。单稳态电路只有



一个稳定状态,当电路的输入端未加触发信号时,电路始终处于稳态,当电路有一个有效的触发信号后,电路翻转,进入暂稳状态,隔了一段时间后,电路又自动翻转到原先的稳态。由于它只有一个稳态,所以称之为单稳态电路。

无稳态电路又称多谐振荡器、无稳态振荡器 (unstable multivibrator), 或自激多谐振荡器电路 (因为它能够产生振荡), 这是一种矩形脉冲信号产生电路, 在数字系统电路中应用广泛。

### ★12.2.1 图解集-基极耦合双稳态电路



#### 电路特征提示

双稳态电路的输出端与一般放大器不同,它有两个输出端,每个输出端都有两个稳定的输出状态,而且两个输出端的输出状态始终相反,一个输出高电平时另一个输出低电平。双稳态电路的输出波形为矩形脉冲,如图12-34所示是双稳态电路输出信号波形示意图。

如图12-35所示是集-基耦合双稳态电路。这一电路由两只晶体管和电阻构成,两只晶体管的集电极分别是两个输出端。两管基极通过 $R_3$ 和 $R_4$ 并联,作为触发信号输入端。

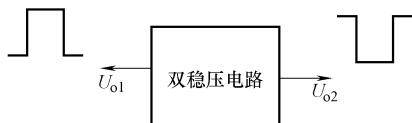


图 12-34 双稳态电路输出信号波形示意图

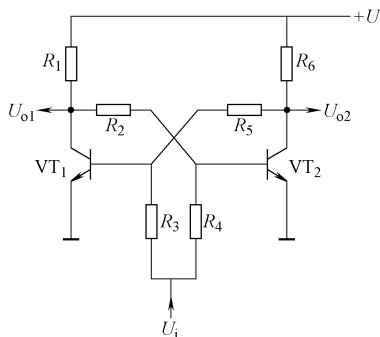


图 12-35 集-基耦合双稳态电路

#### 1. 直流电路分析

1)  $VT_1$  管直流电路分析。如图12-36所示是 $VT_1$ 管直流电流回路示意图。

2)  $VT_2$  管直流电流分析。如图12-37所示是 $VT_2$ 管直流电流回路示意图。

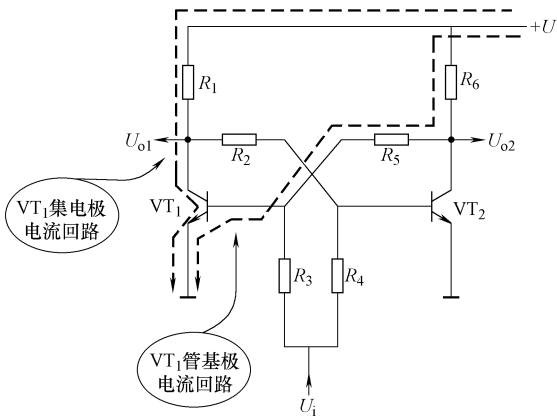


图 12-36  $VT_1$  管直流电流回路示意图

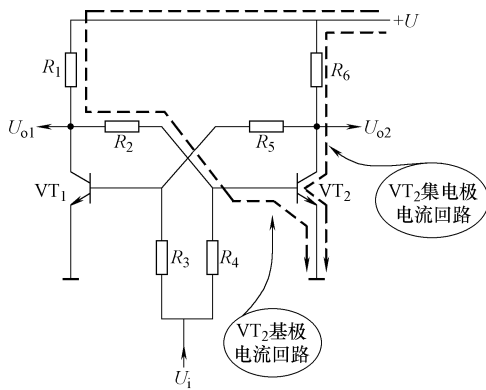


图 12-37  $VT_2$  管直流电流回路示意图

#### 2. $VT_1$ 导通过程分析

没有输入触发信号时,接通直流工作电源 $+V$ 后,虽然电路中元器件参数对称,但是不可能完

全一样,假设接通电源后  $VT_1$  的导通程度大于  $VT_2$ ,这样  $VT_1$  的基极和集电极电流增大,使  $VT_1$  的集电极电压下降,通过  $R_2$  使  $VT_2$  基极电压下降,其集电极电压上升,再经  $R_5$  使  $VT_1$  的基极电压上升,其基极电流更大,显然这是正反馈过程,所以很快使  $VT_1$  处于饱和状态。如图12-38所示是正反馈回路示意图。

$VT_1$  饱和后集电极电压只有 0.2V,这一电压经  $R_2$  加到  $VT_2$  基极,因为这一电压太低而使  $VT_2$  处于截止状态。 $VT_2$  处于截止状态,其集电极为高电平。只要外电路没有出现有效的触发信号,这一电路始终保持  $VT_1$  饱和、 $VT_2$  截止的这一稳定状态。 $VT_1$  饱和、 $VT_2$  截止只是这一电路的一个稳定状态。

### 3. $VT_2$ 导通过程分析

如果在电源接通之后设  $VT_2$  导通电流大于  $VT_1$ ,这样  $VT_2$  的基极和集电极电流增大,使  $VT_2$  的集电极电压下降,通过  $R_5$  使  $VT_1$  基极电压下降,其集电极电压上升,再经  $R_2$  使  $VT_2$  的基极电压上升,其基极电流更大,显然这是正反馈过程,所以很快使  $VT_1$  处于截止、 $VT_2$  处于饱和的稳定状态。如图 12-39 所示是正反馈回路示意图。

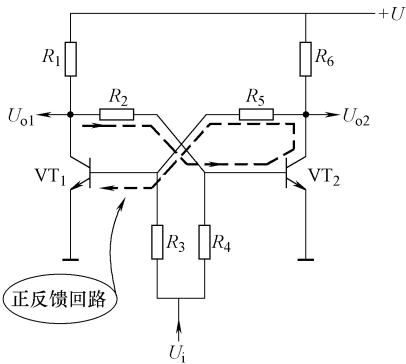


图 12-38 正反馈回路示意图

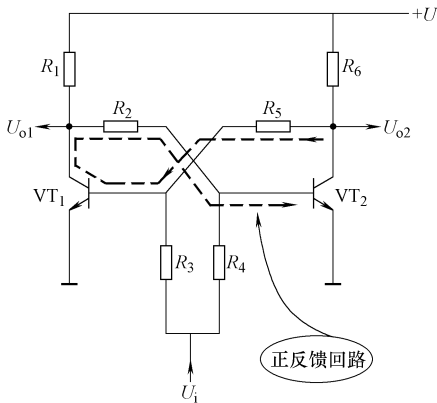


图 12-39 正反馈回路示意图

只要外电路没有出现有效的触发信号,这一电路始终保持这一稳定状态。 $VT_2$  饱和、 $VT_1$  截止是另一个稳定状态。

### 4. 输入触发电路分析

如图 12-40 所示是输入触发电路。电路中的  $C_1$  和  $R_1$  构成微分电路,输入脉冲信号是矩形脉冲,输入信号经这一微分电路后,获得正、负尖顶脉冲。

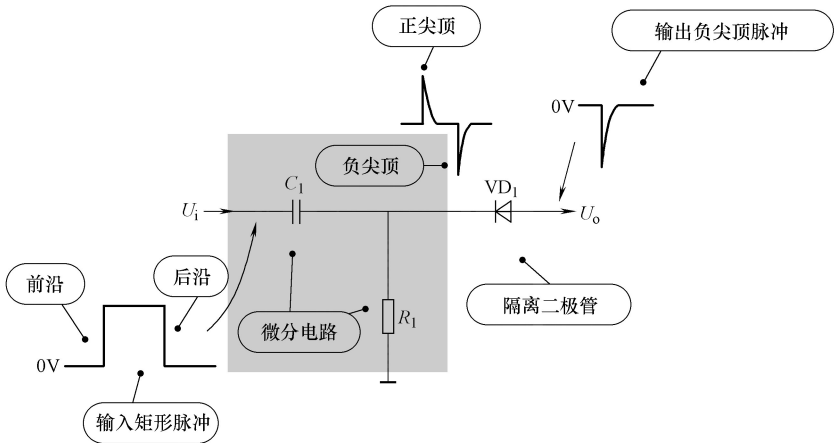


图 12-40 输入触发电路





由于二极管具有单向导电特性,  $VD_1$  只能让负尖顶脉冲通过, 将正尖顶脉冲去掉。

当有触发信号作用于集-基耦合双稳态电路时, 这一电路稳定状态将发生变化。

设电路处于  $VT_1$  饱和、 $VT_2$  截止的稳态。触发电路来的负尖顶脉冲通过  $R_3$  和  $R_4$  同时加到  $VT_1$  和  $VT_2$  基极。由于  $VT_2$  截止, 所以负脉冲加到  $VT_2$  基极后对  $VT_2$  没有触发作用。

负脉冲加到  $VT_1$  基极使  $VT_1$  基极电压下降, 其基极和集电极电流下降, 集电极电压升高, 通过  $R_2$  加到  $VT_2$  基极, 使  $VT_2$  基极电压增大, 其集电极电压降低, 通过  $R_5$  使  $VT_1$  基极电压更低, 这是正反馈过程, 很快使  $VT_1$  从饱和转为截止,  $VT_2$  则从截止转为饱和。



### 重要提示

当第二个尖顶脉冲通过  $R_3$  和  $R_4$  加到  $VT_1$  和  $VT_2$  基极后, 同样的道理, 这一负尖顶脉冲对已处于截止状态的晶体管无触发影响, 只对饱和状态晶体管有触发作用, 电路再次从一个稳态转换到另一个稳态。

## 5. 实用集-基耦合双稳态电路

如图 12-41 所示是实用集-基耦合双稳态电路。电路中,  $U_i$  为输入触发信号, 这是一个矩形脉冲信号, 信号波形见图中所示。这一输入信号加到  $C_1$  和  $R_7$  构成的微分电路中, 得到尖顶脉冲, 再通过二极管  $VD_1$  和  $VD_2$  分别加到  $VT_1$  和  $VT_2$  管基极上, 加到  $VT_1$  和  $VT_2$  管基极的尖顶脉冲是负脉冲, 见图中所示。

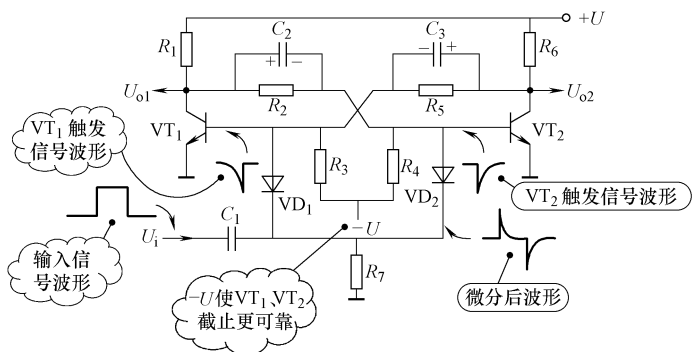


图 12-41 实用集-基耦合双稳态电路

此时  $VT_1$  管集电极电压低于  $VT_2$  管的集电极电压, 使  $C_3$  上充电电压大于  $C_2$  上的充电电压,  $C_2$  上的电压为左正右负、 $C_3$  上的电压为右正左负, 见图中所示。

当输入触发信号出现时, 两管基极上均有负尖顶脉冲, 两管均处于截止状态, 两管的集电极电压均变为  $+U$ 。在负尖顶脉冲过去之后, 由于  $C_2$  和  $C_3$  上充电电压大小不同 (电容两端的电压又不能突变), 因  $C_3$  上的电压大, 所以  $VT_1$  管基极电压低,  $VT_2$  管基极电压高, 这样电路能够可靠地向  $VT_1$  管进入截止、 $VT_2$  管进入饱和状态变化, 电路实现可靠的翻转。

3)  $C_2$  和  $C_3$  加速电容作用分析。 $C_2$  和  $C_3$  的作用是加速  $VT_1$  和  $VT_2$  管在截止和饱和之间的变化速度。

当  $VT_2$  管饱和之后, 因  $VT_1$  管处于截止状态, 其集电极为高电平, 即  $VT_1$  管集电极

关于这一电路工作原理基本上同前面的电路相同, 这里主要介绍这一电路中的输入触发电路和电容  $C_2$  和  $C_3$  作用。

1) 负电压作用。负极性直流电压  $-U$  通过电阻  $R_3$  和  $R_4$  加到  $VT_1$  和  $VT_2$  管基极上, 使两管截止时能够可靠截止。

2)  $C_2$  和  $C_3$  能够在触发电压出现时使电路可靠翻转原理。设电路处于  $VT_1$  饱和、 $VT_2$  截止状态,

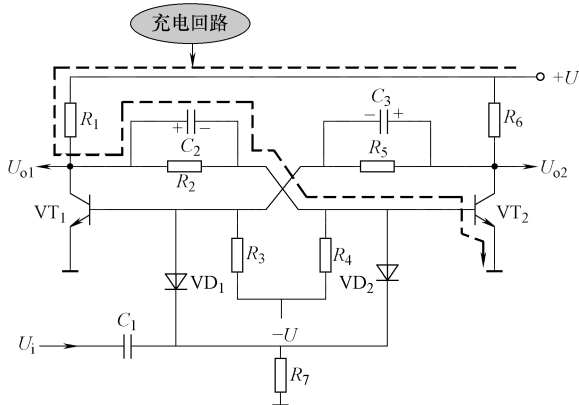


图 12-42 充电回路示意图

电压等于直流工作电压  $+U$ ，此时  $+U$  通过  $R_1$  对电容  $C_2$  充电，其充电回路是：如图 12-42 所示， $+U \rightarrow R_1 \rightarrow C_2 \rightarrow VT_2$  管基极  $\rightarrow VT_2$  管发射极  $\rightarrow$  地端。

当  $C_2$  充到左正右负电压后， $C_2$  相当于开路。当又一个负尖顶脉冲加到  $VT_1$  和  $VT_2$  管基极时，对已截止的  $VT_1$  管无触发作用，但对饱和的  $VT_2$  管为有效触发， $VT_2$  管从饱和向截止转化，在这一过程中电路  $C_2$  上的左正右负电压通过  $VT_1$  管集电极和发射极加到了  $VT_2$  管基极与发射极之间， $C_2$  上这一电压给  $VT_2$  管基极与发射极之间加的是反向偏置电压，使  $VT_2$  管迅速从饱和转换到截止，所以  $C_2$  具有加速  $VT_2$  管转换作用。

## 6. 电路分析小结

1) 两种电路工作原理不同。两种双稳态电路都有两个稳定的状态，但电路的工作原理不同，对于集—基耦合的双稳态电路而言，它的工作状态转换是受触发信号控制的；而发射极耦合双稳态电路受输入电压大小控制。

2) 一只为饱和时另一只必为截止。在集—基耦合双稳态电路中，电路翻转通过正反馈实现。

电路中的两只晶体管在稳态时工作状态始终相反，当一只为饱和时另一只必为截止。

3) 参数不对称性问题。在集—基耦合双稳态电路中，当电路参数对称时接通电源后不一定是哪只晶体管先饱和，状态不确定，但是对于某个具体电路而言，由于电路中的元器件参数不可能是完全对称的，所以必有一只晶体管首先进入饱和。

当电路中没有获得有效触发信号时，电路始终处于原先的稳定状态，电路不会发生翻转。

## ★12.2.2 图解发射极耦合双稳态电路

发射极耦合双稳态电路又称施密特触发器，简称射耦双稳态电路，这种电路也有两个稳定状态，这种电路也可以用分立元器件和逻辑门电路构成。

如图 12-43 所示是由分立元器件构成的发射极耦合双稳态电路。从电路中可以看出，两只晶体管  $VT_1$  和  $VT_2$  发射极相连，故称为发射极耦合双稳态电路。电路中， $U_i$  为输入信号， $U_o$  为输出信号。

### 1. 电路分析

对这一电路的分析分成以下两种情况。

1) 输入信号幅度足够大。当输入信号  $U_i$  大到一定程度之后，使  $VT_1$  管的基极电流增大，其集电极电压下降，这一电压经  $R_3$  加到  $VT_2$  管基极，使基极电压下降， $VT_2$  管发射极电压下降。

这时  $VT_1$  管的发射极电压下降， $VT_1$  管基极电流更大，所以这是正反馈过程，很快使  $VT_1$  管饱和、 $VT_2$  管截止，输出电压  $U_o$  为高电平，电路进入稳定状态。只要输入信号大小变化不超出一定范围，这一电路将保持这一稳定状态。

2) 输入信号幅度不能达到足够大。当输入电压  $U_i$  低于某一值时，由于  $VT_1$  管处于截止状态，其集电极电压高，经  $R_3$  加到  $VT_2$  管基极，使  $VT_2$  管处于饱和状态，此时输出电压  $U_o$  为低电平，电路进入另一个稳定状态。所以，这一电路也有两个稳定状态。

### 2. 回差现象

发射极耦合双稳态电路存在回差现象，可以用如图 12-44 所示输入信号为三角波时的电路工作过程来说明。图 12-44a 所示为输入信号波形，图 12-44b 所示是输出信号波形。

所谓回差现象是指这种情况：见图 12-44a 所示输入信号波形，当输入电压大于  $U_1$  后， $VT_1$  管饱和、 $VT_2$  管截止，输出为高电平。此时降低输入电压  $U_i$ ，当减小到  $U_1$  时， $VT_1$  管仍然饱和、 $VT_2$  管仍然截止，只有当输入电压小于  $U_2$  时， $VT_1$  管才从饱和转为截止， $VT_2$  管从截止进入饱和。

射耦双稳态电路产生回差现象原因是：当输入电压上升到  $U_1$  时， $VT_1$  管从截止进入饱和状态，

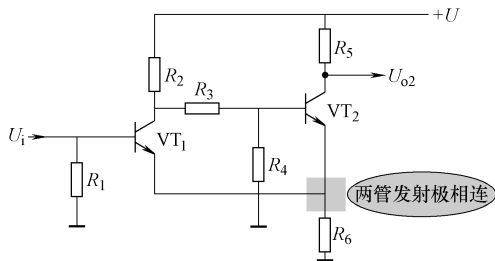


图 12-43 分立元器件发射极耦合双稳态电路



$VT_2$  管从则由饱和进入截止状态。

当输入电压减小到  $U_1$  时, 虽然  $VT_1$  管已经退出了饱和区, 但  $VT_1$  管的集电极电压仍然比较低, 这一电压经  $R_3$  和  $R_4$  分压后加到  $VT_2$  管基极, 此时  $VT_1$  管 ( $VT_2$  管) 发射极电压仍然比较高, 高于  $VT_2$  管的基极电压, 所以  $VT_2$  管不能从截止转为饱和。

只有当输入电压下降到  $U_2$  时,  $VT_1$  管的集电极电压才较高, 此时  $VT_2$  管的基极电压大于发射极电压,  $VT_2$  管从截止进入饱和状态。

### 3. 应用电路分析

对于电路中元器件参数已经确定的电路, 它的动作电压和返回电压值大小是不变的, 利用这一点可以用发射耦双稳态电路作为整形器和甄别器。甄别器电路的工作原理可以用如图 12-45 所示波形来说明。

从波形中可以看出, 只有当输入信号电压大于动作电压  $U_1$  时, 才有输出电压  $U_o$  为高电平, 其他输出电压为低电平。这样, 这种电路能够从输入信号中甄别出  $U_1$  的信号。

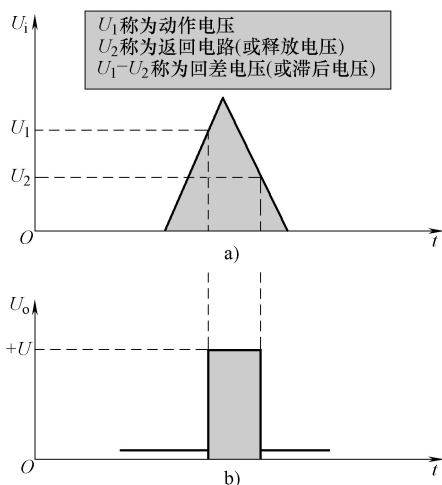


图 12-44 输入、输出波形示意图

#### 分析提示

图 12-45a 所示输入信号为正弦波信号情况, 图 12-45b 所示为输入信号为三角波信号情况。从图中可以看出, 无论输入信号是什么波形, 只要输入电压大于动作电压  $U_1$ , 便有幅度相等的矩形脉冲波形输出, 达到整形的目的。

## ★12.2.3 图解集-基极耦合单稳态电路

如图 12-46 所示是集-基耦合单稳态电路, 这种电路也是由两只晶体管构成。电路中,  $U_i$  为输入触发信号, 为矩形脉冲信号。 $U_o$  为输出电压。

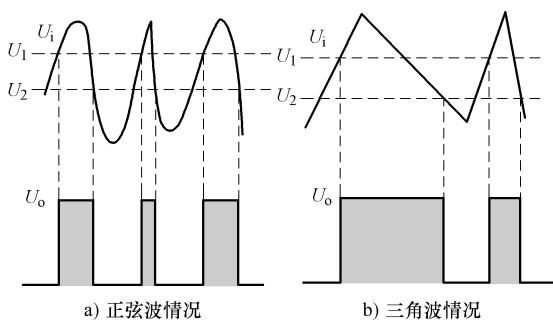


图 12-45 波形示意图

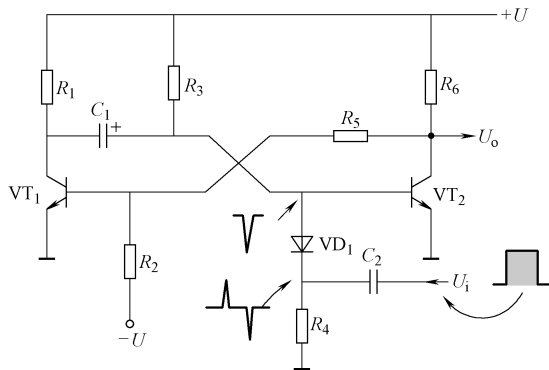


图 12-46 集-基耦合单稳态电路

### 1. 稳态分析

电阻  $R_2$  将负极性  $-U$  加到  $VT_1$  管的基极, 使  $VT_1$  管的基极电压为负, 这样  $VT_1$  管处于截止状态。

直流工作电压  $+U$  经  $R_3$  给  $VT_2$  管基极足够的基极电流, 使  $VT_2$  管处于饱和状态, 如图 12-47 所示是  $VT_2$  管直流电流回路示意图, 这是电路的稳态, 即  $VT_1$  管截止、 $VT_2$  管饱和, 此时输出电压

$U_o$  为低电平。只要电路中没有有效的触发信号输入，电路就一直保持这种稳态。

如图 12-48 所示是这一电路中有关点的波形，其中图 12-48a 所示为输入触发信号电压  $U_i$  的波形，这是一个矩形脉冲信号。图 12-48b 所示是经  $C_2$  和  $R_4$  微分电路之后的输出电压波形，通过微分电路已将矩形脉冲转换成正、负尖顶脉冲。图 12-48c 所示是  $VT_2$  管集电极电压波形，即这一电路的输出信号电压波形。

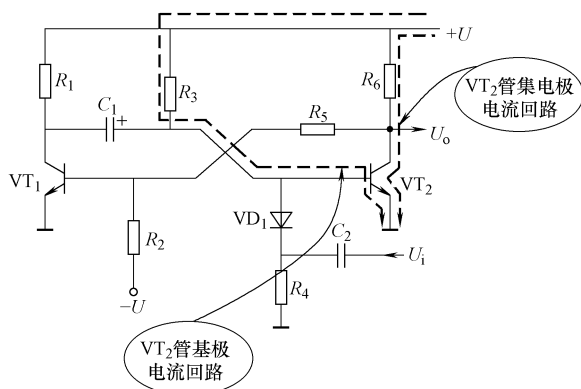


图 12-47  $VT_2$  管直流电流回路示意图

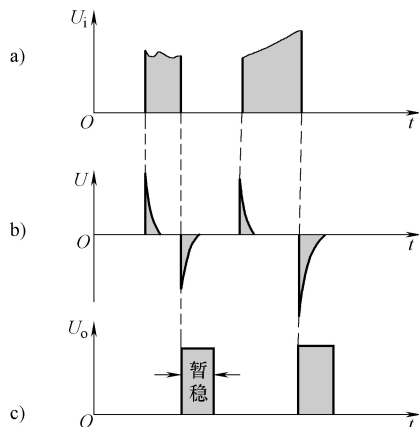


图 12-48 电路中有关点电压波形示意图

## 2. 翻转分析

1) 第一次翻转分析。当输入触发信号  $U_i$  从高电平变为低电平（输入脉冲的后沿）时，通过  $C_2$  和  $R_4$  微分电路和二极管  $VD_1$  在  $VT_2$  管基极得到一个负尖顶脉冲触发，使  $VT_2$  管的基极电压下降，电路中出现了正反馈过程，即输入负脉冲使  $VT_2$  管基极电压下降，其集电极电压上升，通过  $R_5$  加到  $VT_1$  管基极，使  $VT_1$  管基极电压上升，其集电极电压下降，通过  $C_1$  加到  $VT_2$  管的基极（电容两端电压不能突变），使  $VT_2$  管的基极电压进一步下降，很快通过这一正反馈，使  $VT_2$  管处于截止状态， $VT_1$  管处于饱和状态。如图 12-49 所示是这一正反馈回路示意图。

由于  $VT_2$  管截止，所以此时输出电压  $U_o$  为高电平，见图 12-48c 中的  $U_o$  所示，这是电路暂稳态。

2) 暂稳态分析。电路进入暂稳态后，由于  $VT_1$  管饱和，构成了对电容  $C_1$  的充电回路，如图 12-50 所示是充电回路示意图，充电回路为  $+U \rightarrow R_3 \rightarrow C_1 \rightarrow VT_1$  管集电极  $\rightarrow VT_1$  管发射极  $\rightarrow$  地端。

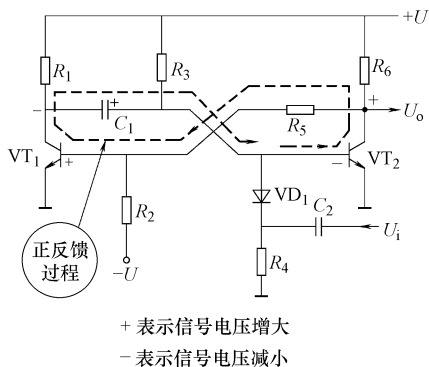


图 12-49 正反馈回路示意图

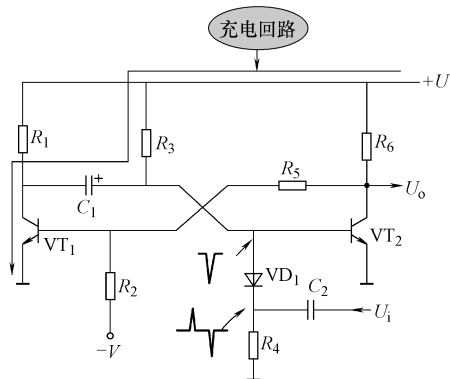


图 12-50 充电回路示意图

这一充电在  $C_1$  上充到右 + 左 - 的电压，电容  $C_1$  上的这一充电电压使  $VT_2$  管的基极电压升高，存在使  $VT_2$  管导通的趋势。对电容  $C_1$  充电的时间长短，就决定了电路暂稳态的时间长短。

3) 第二次翻转分析。随着对  $C_1$  充电的进行，使  $VT_2$  管基极电压升高，当这一电压升高到一定



程度时,  $VT_2$  管导通, 电路再次发生正反馈过程, 这次正反馈的结果是  $VT_2$  管从截止转为饱和,  $VT_1$  管从饱和转为截止, 进入稳态, 只要没有有效的输入触发信号触发, 电路始终保持这一状态。

### 3. 输入触发电路

如图 12-51 所示电路中,  $R_4$ 、 $C_2$  和  $VD_1$  构成触发电路, 其中  $R_4$  和  $C_2$  构成微分电路。输入信号  $U_i$  是矩形脉冲, 通过微分电路得到正、负尖顶脉冲, 经  $VD_1$  将正尖顶脉冲去掉, 这样只有负尖顶脉冲能够加到  $VT_2$  管的基极, 作为有效触发信号。

触发信号通常是加在稳态为饱和晶体管的基极上, 对于 NPN 型晶体管则加负尖顶脉冲, 对于 PNP 型晶体管则加正尖顶脉冲。总之, 加尖顶脉冲的极性要使原先饱和的晶体管退出饱和, 这才是有效触发信号。



#### 重要提示

在上述电路中, 输出脉冲  $U_o$  的脉宽与  $R_3$  和  $C_1$  大小有关, 输出脉冲宽度约等于  $0.693 R_3 C_1$ 。

### 4. 整形应用

如图 12-52 所示波形可以说明这种单稳态电路的脉冲整形应用。根据这种单稳态电路的工作原理可知, 输入任何电压波形 (只要能起到有效触发作用), 如图 12-52a 所示是输入电压波形示意图, 单稳态电路都能够输出与输入脉冲相对应的脉冲幅度相等、脉冲宽度相等的一连串脉冲, 如图 12-52b 所示。

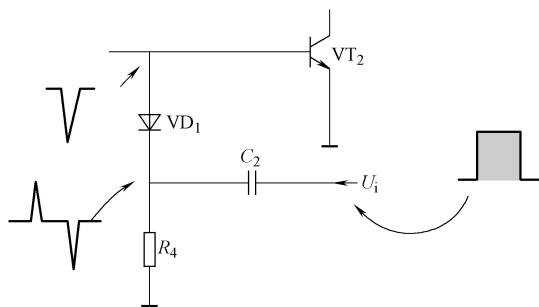


图 12-51 触发电路

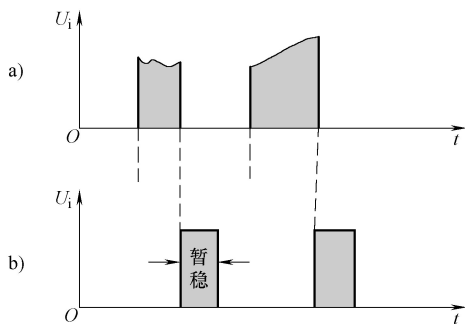


图 12-52 示意图

由于输入信号有效触发后, 电路处于暂稳态的时间由  $RC$  时间常数决定, 所以输出脉冲的宽度一定。由于输入信号有效触发后, 输出电平的大小是与输入信号的幅度无关的, 所以输出电压的幅度是一定的。

### 5. 分频应用

单稳态电路还可以用来对输入信号进行分频, 可用如图 12-53 所示波形来说明。图 12-53a 所示为输入电压波形, 图 12-53b 所示是输入脉冲经过微分电路后的电压波形, 图 12-53c 所示是单稳态电路输出电压波形。

由于电路处于暂稳态的时间由  $RC$  时间常数决定, 只要调整  $RC$  时间常数的大小, 就能得到所要的暂稳态时间, 可以得到不同的分频特性, 图中是三分频, 即三个输入脉冲才能得到一个输出脉冲。

这种单稳态电路还能用于延迟、定时等方面。

## ★12.2.4 图解发射极耦合单稳态电路

如图 12-54 所示是发射极耦合单稳态电路, 从电路中可以看出,  $VT_1$  和  $VT_2$  管的发射极相连, 所以称为发射极耦合单稳态电路。电路中,  $R_4$  是两管共用的发射极电阻,  $U_o$  是这一电路的输出信



号,为脉冲信号, $U_i$ 是输入触发信号,为负尖顶脉冲(这一电路中没有画出输入回路中的触发电路)。

### 1. 稳态时电路分析

在没有触发信号作用的稳态下,电阻 $R_5$ 给 $VT_2$ 管基极足够大的基极电流,使 $VT_2$ 管处于饱和状态下。如图12-55所示是 $VT_2$ 管直流电流回路示意图。

$VT_2$ 管较大的发射极电流流过电阻 $R_4$ ,在 $R_4$ 上的压降比较大, $VT_1$ 管基极通过 $R_1$ 和 $R_2$ 分压得到一个电压,但是这一电压没有 $VT_1$ 管发射极上的电压大,所以此时 $VT_1$ 管处于截止状态。

只要不给电路输入有效触发信号,电路一直处于这一稳定状态下,即输出端为低电平。在稳态下,由于 $VT_2$ 管的发射极不是直接接地,所以 $VT_2$ 管的集电极电压(输出电压)不是很小,而是有一个较大的值。

### 2. 触发信号分析

这一电路的触发电路电路与前面的触发电路相同,输入信号也是一个矩形脉冲信号,这一矩形脉冲信号加到微分电路中,得到正、负尖顶脉冲,再通过二极管的单向导电性(图中未画出),将正尖顶脉冲去掉,将负尖顶脉冲加到 $VT_2$ 管的基极上。

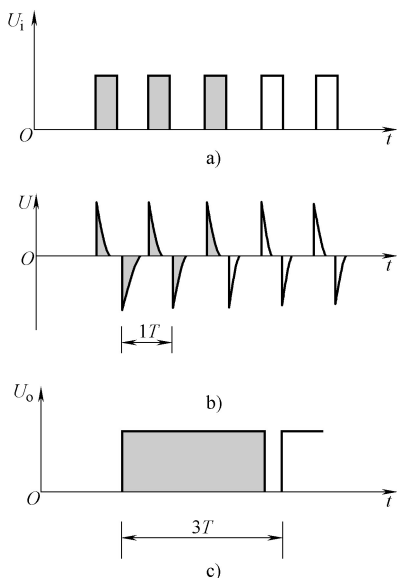


图 12-53 分频应用示意图

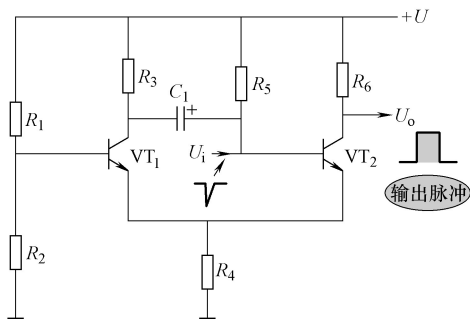


图 12-54 发射极耦合单稳态电路

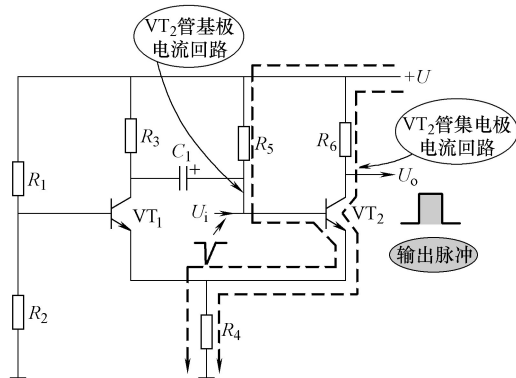


图 12-55  $VT_2$ 管直流电流回路示意图

在 $VT_2$ 管基极上加有负尖顶脉冲之后,使 $VT_2$ 管的基极电压下降,其基极和发射极电流减小,在 $VT_1$ 管发射极上的电压下降,由于 $VT_1$ 管的基极电压不变,使 $VT_1$ 管基极电流增大,其集电极电压下降,通过 $C_1$ 使 $VT_2$ 管的基极电压进一步下降, $VT_2$ 管的基极电流进一步下降, $VT_2$ 和 $VT_1$ 管发射极电压更低,可见这是正反馈过程,如图12-56所示是这一正反馈回路示意图。

通过这一正反馈,很快使 $VT_1$ 管进入饱和、 $VT_2$ 管进入截止,这样电路进入了暂稳态。即输出端为高电平。

### 3. 暂稳态及恢复稳态过程分析

在电路进入暂稳态之后,由于 $VT_1$ 管饱和,此时 $C_1$ 充电,如图12-57所示是充电回路示意图,其充电电流回路是:  $+U \rightarrow R_5 \rightarrow C_1 \rightarrow VT_1$ 管集电极 $\rightarrow VT_1$ 管发射极 $\rightarrow R_4 \rightarrow$ 地端。

这一充电使 $C_2$ 上的充电电压为右+左-,这一电压使 $VT_2$ 管的基极电压升高,当 $VT_2$ 管基极电压上升到一定程度后, $VT_2$ 管基极电流增大,其发射极电流增大, $VT_2$ 、 $VT_1$ 管的发射极电压升高,导致 $VT_1$ 管的基极电流下降,其集电极电压升高,即 $VT_2$ 管的基极电压升高, $VT_2$ 管的基极和发射极电流进一步增大,这是电路的正反馈过程,很快使 $VT_2$ 管进入饱和、 $VT_1$ 管截止,电路进入



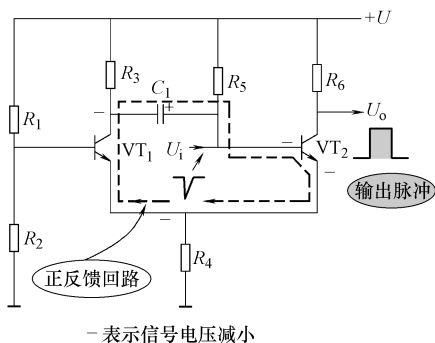


图 12-56 正反馈回路示意图

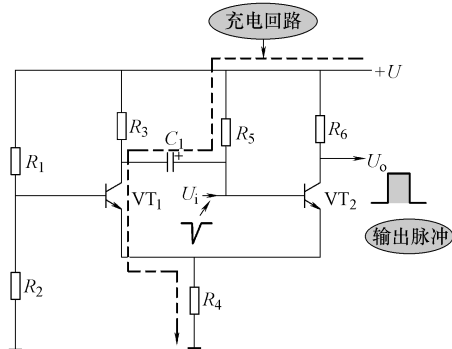


图 12-57 充电回路示意图

稳态。



### 重要提示

电路进入暂稳态之后，通过对电容  $C_1$  的充电（其充电时间长短决定了暂稳态的时间长短），电路在没有任何触发信号的作用下，自动恢复到稳定状态。

## 4. 基极触发电路

发射极耦合单稳态电路可以采用基极触发电路和集电极触发电路。如图 12-58 所示是采用基极触发的电路。

电路中的  $VT_1$  和  $VT_2$  管构成发射极耦合单稳态电路。 $C_1$ 、 $R_1$  和  $VD_1$  构成输入触发电路，其中  $C_1$  和  $R_1$  构成微分电路，这一电路将输入矩形脉冲转换成正、负尖顶脉冲， $VD_1$  只让正尖顶触发脉冲加到  $VT_1$  管基极，所以这一电路又称正脉冲触发电路。

稳态时， $VT_1$  管处于截止状态，这一正尖顶脉冲加到  $VT_1$  管基极，会使电路发生转换，即向  $VT_1$  管饱和、 $VT_2$  管截止的暂稳态转换，所以这里加到  $VT_1$  管基极的正尖顶脉冲是有效触发信号。

## 5. 集电极触发电路

如图 12-59 所示是集电极触发电路。电路中的  $VT_1$  和  $VT_2$  管构成发射极耦合单稳态电路。 $C_1$ 、 $R_1$  和  $VD_1$  构成了输入触发电路，其中  $C_1$  和  $R_1$  构成微分电路，理解这一微分电路工作原理时，要将直流电源  $+V$  看作交流等效接地。

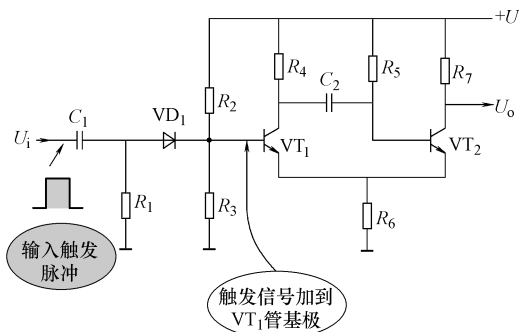


图 12-58 基极触发电路

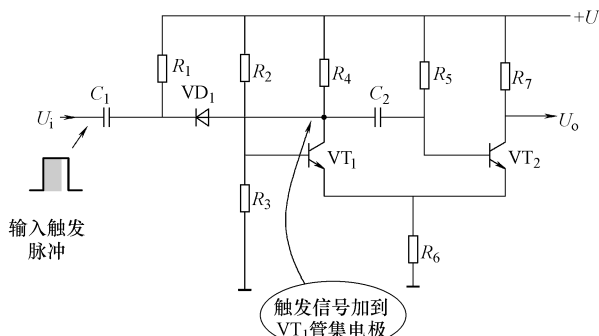


图 12-59 集电极触发电路

这一微分电路将输入矩形脉冲转换成正、负尖顶脉冲， $VD_1$  只让负尖顶触发脉冲加到  $VT_1$  管集电极。

当负尖顶脉冲出现时，由于电容  $C_2$  两端的电压不能突变，所以这一负尖顶脉冲通过  $C_2$  加到了  $VT_2$  管的基极，在稳态时  $VT_2$  管处于饱和状态，这一负尖顶脉冲加到  $VT_2$  管基极后，会使电路发生

转换,即向  $VT_2$  管截止、 $VT_1$  管饱和的暂稳态方向转变,所以加到  $VT_1$  管集电极负尖顶脉冲是有效触发信号。

## 6. 电路分析小结

分析单稳态电路时,主要是分成稳态、电路翻转、暂稳态几个部分进行。关于分立元器件构成的单稳态电路还要说明以下几点:

1) 单稳态电路只有一个稳定的状态,在有效触发信号作用之后,电路通过正反馈进入暂稳态,之后对电路中的电容充电,待充电到一定程度之后,电路自动进入第二次正反馈过程,这次正反馈的结果是电路又恢复到稳态。

2) 单稳态电路的暂稳时间是受电路中电容充电时间常数决定的,改变这一  $RC$  时间常数,可以改变暂稳态的时间。改变电路中的电容、电阻参数,就能改变电容充电、放电的时间,从而就能改变电路暂稳态时间。

3) 在分析单稳态电路的应用电路工作原理时,主要是利用单稳态电路的工作特性去分析。

## ★12.2.5 图解自激多谐振荡器

如图 12-60 所示是无稳态电路,即自激多谐振荡器。这种电路由于是振荡器,所以没有输入端,只有输出端,而且电路也没有稳定的状态,在两管的集电极能够输出矩形脉冲信号。电路中,  $VT_1$  和  $VT_2$  管的集电极和基极通过电容交连,所以这是集—基耦合无稳态电路。

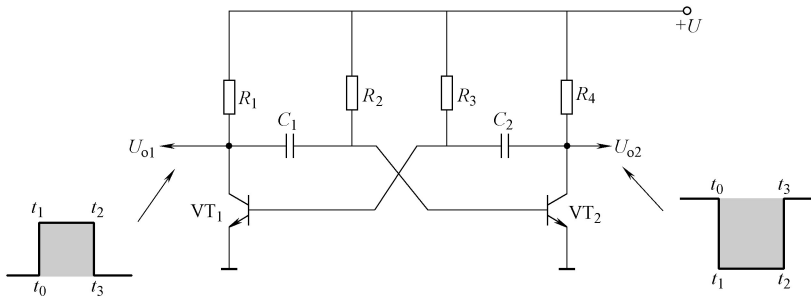


图 12-60 无稳态电路

### 1. 电路分析

对这一电路工作原理的分析可以根据输出信号波形分成 4 种情况进行。

1)  $t_0 \sim t_1$  期间电路分析。 $t_0$  时刻之前,直流工作电压  $+V=0V$ ,电路无直流工作电压,电路的两个输出电压均为  $0V$ 。

电源接通之后,设  $VT_2$  管导通优先于  $VT_1$  管,这样  $R_2$  给  $VT_2$  管基极提供基极电流,如图 12-61 所示是  $VT_2$  管直流电流回路示意图。

$VT_1$  管基极电流增大,使其集电极电压下降,这一下降的电压经  $C_2$  加到  $VT_1$  管的基极 ( $C_2$  两端的电压不能发生突变),使  $VT_1$  管的基极电压下降,其集电极电压上升,这一上升的电压通过电容  $C_1$  加到了  $VT_2$  管的基极,使  $VT_2$  管基极电流更大,显然这是正反馈过程,如图 12-62 所示是正反馈回路示意图。

通过这一正反馈,很快  $VT_2$  管进入饱和状态,  $VT_1$  管进入截止状态,即在  $t_1$  时刻,  $VT_1$  管截止、 $VT_2$  管饱和。

由于  $VT_1$  管截止,所以其集电极输

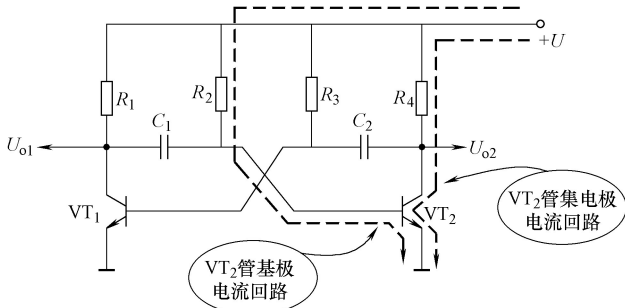


图 12-61  $VT_2$  管直流电流回路示意图



出电压  $U_{o1}$  为高电平。由于  $VT_2$  管饱和，所以其集电极输出电压  $U_{o2}$  为低电平。

2)  $t_1 \sim t_2$  期间电路分析。这一段时间内， $VT_1$  管一直是截止的， $VT_2$  管一直饱和。

由于  $t_0 \sim t_1$  时间很短，电容  $C_1$  和  $C_2$  两端的电压是不能发生突变的，但在  $t_1$  时刻后，因  $VT_2$  管饱和导通，构成了对电容  $C_2$  的充电回路，如图 12-63 所示是充电回路示意图，即  $+U \rightarrow R_3 \rightarrow C_2 \rightarrow VT_2$  集电极  $\rightarrow VT_2$  发射极  $\rightarrow$  地端，在  $C_2$  上的充电电压为左正右负。

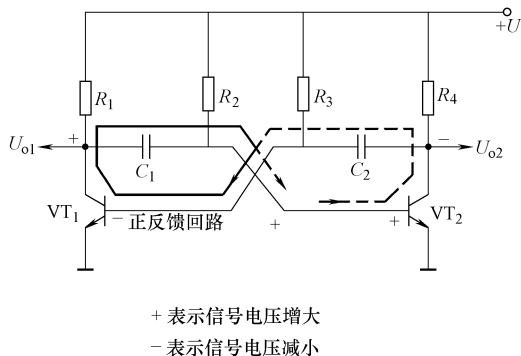


图 12-62 正反馈回路示意图

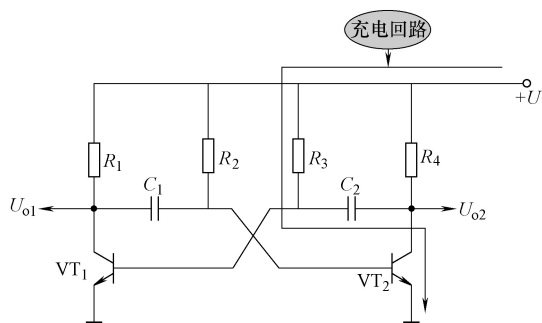


图 12-63 充电回路示意图

### 重要提示

这一充电电压使  $VT_1$  管的基极电压升高，使  $VT_1$  管存在从截止转为饱和导通的趋势。显然，对电容  $C_2$  的充电时间长短决定了  $VT_2$  管集电极输出低电平的时间长短，即  $VT_2$  管集电极输出低电平脉冲的宽度。

3)  $t_2 \sim t_3$  期间电路分析。 $t_2$  时刻起，由于  $VT_1$  管的基极电流增大，通过电路中的正反馈，很快使  $VT_1$  管饱和、 $VT_2$  管截止。 $t_1 \sim t_2$  时间很短，主要是电路的正反馈过程。

从  $t_2$  时刻起，由于  $VT_1$  管饱和，其集电极输出电压  $U_{o1}$  为低电平，由于  $VT_2$  管截止，其集电极输出电压  $U_{o2}$  为高电平。

4)  $t_3 \sim t_4$  期间电路分析。这期间内， $VT_1$  管一直处于饱和状态， $VT_2$  管一直处于截止状态。由于  $VT_1$  管饱和，构成对电容  $C_1$  的充电回路，如图 12-64 所示是充电回路示意图，即  $+U \rightarrow R_2 \rightarrow C_1 \rightarrow VT_1$  管集电极  $\rightarrow VT_1$  管发射极  $\rightarrow$  地端。

这一充电在  $C_1$  上得到右 + 左 - 的电压，其充电的时间长短决定了  $VT_1$  管饱和的时间长短。

由于  $C_1$  上的充电电压增大，使  $VT_2$  管的基极电压增大，导致  $VT_2$  管基极电流增大，这时电路又开始了下一轮的正反馈过程。

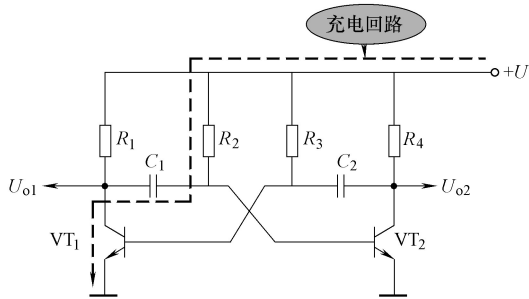


图 12-64 充电回路示意图

### 2. 振荡周期

当电路中的元件参数对称时，即  $R_1 = R_4$ 、 $R_2 = R_3$ 、 $C_1 = C_2$  和  $VT_1$ 、 $VT_2$  管性能一致，这一电路的振荡周期  $T$  由下式决定：

$$T = 1.386R_3C_2 = 1.386R_2C_1$$

### 3. 电路分析小结

关于无稳态电路分析主要说明以下几点：

1)  $R_2$  和  $C_1$  时间常数大小决定了对电容  $C_1$  的充电速度，也就是决定了  $VT_1$  管饱和、 $VT_2$  管截止的时间长短。 $R_3$  和  $C_2$  时间常数决定了对电容  $C_2$  的充电速度，即决定了  $VT_2$  管饱和、 $VT_1$  管截止

的时间长短。

2) 无稳态电路也是一种振荡器,它输出的是矩形脉冲信号,电路中没有选频电路。这一电路的两个输出信号相位相反,见图中  $U_{o1}$  为高电平时  $U_{o2}$  为低电平,当  $U_{o1}$  为低电平时  $U_{o2}$  为高电平,为反相关系。

3) 这一电路在电源接通后,电路中的  $VT_1$  和  $VT_2$  管就是一只饱和、一只截止地变化,没有稳定的状态,所以称为无稳态电路。这种电路的分析主要是正反馈过程和电容充电过程的分析。

4) 电路中的  $R_1$  和  $R_4$  分别是  $VT_1$  和  $VT_2$  管的集电极负载电阻,它们的阻值大些,有利于晶体管的饱和,对振荡的频率没有多大影响。 $R_2$  和  $C_1$ 、 $R_3$  和  $C_2$  决定了振荡频率的高低。

阅读完成时间: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日,用时 \_\_\_\_\_ 天。

签 名: \_\_\_\_\_

阅读体会:(请写 10 个收获最大的知识点关键词)

阅读困惑:(请写 10 个最难理解的知识点关键词)

## 图解集成电路放大器

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日  
本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！

### 13.1 集成电路放大器基础知识

本节阅读建议：快速阅读，全面掌握集成电路放大器基础知识。

本节难度系数：4级。

本节记忆系数：8级。



#### 重要提示

了解集成电路的功能和掌握它的四根常用引脚识别方法和外电路分析方法，就能进行集成电路放大器的一般性分析。

集成电路的电源引脚、接地引脚、输入引脚和输出引脚是常用引脚，一般集成电路都有这四根引脚。

#### ★13.1.1 掌握四根常用引脚外电路的实用意义

##### 1. 掌握四根常用引脚功能

如表 13-1 所示是四根常用引脚功能。

表 13-1 四根常用引脚功能

| 引脚名称 | 功能说明                                                |
|------|-----------------------------------------------------|
| 电源引脚 | 用来将整机整流滤波电路输出的直流工作电压加到集成电路的内电路中,为整个集成电路的内电路提供直流工作电压 |
| 接地引脚 | 用来将集成电路内电路中的地线与整机电路中的地线接通,这样集成电路内电路的电流才能成回路         |
| 输入引脚 | 用来将需要放大或处理的信号送入到集成电路的内电路中,信号输入引脚处于集成电路最前端           |
| 输出引脚 | 用来将经过集成电路内电路放大、处理后的信号送出集成电路,信号输出引脚处于集成电路最后端         |

##### 2. 掌握四根引脚外电路对分析集成电路工作原理的实用意义

如表 13-2 所示是掌握四根引脚外电路对分析集成电路工作原理的实用意义。



表 13-2 掌握四根引脚外电路对分析集成电路工作原理的实用意义

| 引脚名称 | 说 明                                                                                                                                                                                                        |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 电源引脚 | (1)分析集成电路直流电压电路工作原理时,首先要找出集成电路的电源引脚,有多个电源引脚时要分清各电源引脚的具体作用<br>(2)功率放大器集成电路电源引脚外电路与整机电源电路相连,知道集成电路电源引脚可以分析整机直流电压供给电路,反之知道整机直流电压供给电路可以找出功率放大器集成电路电源引脚<br>(3)分析整机电路直流电压供给电路时,可以先找出附近电路中集成电路电源引脚,就能找出整机直流电压供给电路 |
| 接地引脚 | 集成电路接地引脚接整机电路地线,找到集成电路接地引脚,能方便地找出整机电路的地线                                                                                                                                                                   |
| 输入引脚 | (1)只有知道集成电路输入引脚,才能知道信号从哪根引脚输入集成电路内电路中<br>(2)输入引脚与前面一级电路输出端电路相连,或与整机电路的信号源电路相连,知道集成电路输入引脚可以从后级向前级方向进行电路分析,这在整机电路分析中时常采用                                                                                     |
| 输出引脚 | 知道集成电路输出引脚才能知道信号经过放大或处理后从哪根引脚输出,才能知道信号要传输到什么后级电路中                                                                                                                                                          |

3. 掌握四根引脚外电路对故障检修的实用意义

如表 13-3 所示是掌握四根引脚电路对故障检修意义。

表 13-3 掌握四根引脚电路对故障检修意义

| 引脚名称 | 说 明                                                                                                                                                   |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 电源引脚 | (1)检修集成电路故障时,首先测量集成电路电源引脚上的直流工作电压,它的直流工作电压在集成电路各引脚中最高<br>(2)当集成电路各引脚上没有直流电压时要检查集成电路电源引脚上是否有直流工作电压<br>(3)为了进一步证实集成电路有故障,需要测量集成电路的静态工作电流,此时要找出集成电路的电源引脚 |
| 接地引脚 | (1)当集成电路电源引脚上有直流工作电压,但是没有电流流过集成电路时,要检查集成电路的接地引脚是否正常接地<br>(2)当集成电路的接地引脚与电路板地线开路后,电路不成回路而无电流                                                            |
| 输入引脚 | 故障检修时给集成电路输入引脚人为地加入信号,检查集成电路工作是否正常,这是常规条件下检修集成电路故障最方便且有效的方法,所以需要找出集成电路输入引脚                                                                            |
| 输出引脚 | 在集成电路的许多故障检修中,只有确定了集成电路的信号输出引脚,才能知道信号是否已从集成电路输出                                                                                                       |

★13. 1. 2 集成电路四根引脚种类

集成电路的常用四根引脚外电路也有变化,了解这些变化对分析引脚外电路工作原理非常有帮助。

1. 电源引脚种类

如表 13-4 所示是集成电路电源引脚种类。

2. 接地引脚种类

如表 13-5 所示是集成电路接地引脚种类。

表 13-4 集成电路电源引脚种类

| 电源引脚种类 | 说明                                                                                      |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 一根电源引脚 | 一般情况下集成电路的电源引脚只有一根                                                                      |
| 负电源引脚  | 1. 负电源引脚是相对于正电源引脚而言的<br>2. 采用正极性直流电压供电时,集成电路的电源引脚接直流电源的正极;采用负极性直流电压供电时,集成电路的电源引脚接直流电源负极 |



(续)

| 电源引脚种类   | 说明                                                                                                |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 多于两根电源引脚 | 1. 一般情况下双声道集成电路只有一根电源引脚,部分双声道集成电路音频功率放大器左、右声道各有一根电源引脚<br>2. 采用正、负电源供电的集成电路有两根电源引脚,一根正电源引脚,一根负电源引脚 |
| 无电源引脚    | 开关电源集成电路、稳压集成电路无电源引脚,因为这类集成电路输入直流电压                                                               |

表 13-5 集成电路接地引脚种类

| 接地引脚种类     | 说 明                                                            |
|------------|----------------------------------------------------------------|
| 一根接地引脚     | 一般情况下集成电路只有一根引脚                                                |
| 左、右声道接地引脚  | 部分双声道集成电路左、右声道接地引脚分开,两个接地引脚在集成电路内电路中不相连,在集成电路外电路中分别接地,以提高声道分离度 |
| 衬底接地引脚     | 一些集成电路另设一个衬底接地引脚,为壳体接地引脚,这一接地引脚与集成电路内电路不相连,使用时将这一接地引脚接电路板地线    |
| 没有接地引脚     | 一部分采用正、负对称电源供电的集成电路可以没有接地引脚                                    |
| 前、后级电路接地引脚 | 一些集成电路内电路复杂,为防止前级和后级电路之前相互干扰,分别在前级和后级电路设置独立的接地引脚               |

3. 集成电路输入引脚种类

如表 13-6 所示是集成电路输入引脚种类。

表 13-6 集成电路输入引脚种类

| 输入引脚种类    | 说 明                                            |
|-----------|------------------------------------------------|
| 一根信号输入引脚  | 通常情况下集成电路必须有一根信号输入引脚,否则信号无法输入到集成电路内电路中         |
| 左、右声道输入引脚 | 双声道集成电路左、右声道各有一根信号输入引脚                         |
| 双声道四根输入引脚 | 某些双声道集成电路有四根输入引脚,左、右声道电路各有两根输入引脚               |
| 没有输入引脚    | 振荡器集成电路没有输入引脚,因为振荡器本身不需要外部信号输入,它是产生振荡信号的电路     |
| 多根输入引脚    | 电子转换开关集成电路有多个输入引脚,例如功能转换开关集成电路,有几路信号输入便有几根输入引脚 |

4. 集成电路输出引脚

如表 13-7 所示是集成电路输出引脚种类。

表 13-7 集成电路输出引脚种类

| 输出引脚种类      | 说 明                                                       |
|-------------|-----------------------------------------------------------|
| 一根输出引脚      | 通常集成电路只有一根输出引脚                                            |
| 二根输出引脚      | 双声道集成电路左、右声道各有一根输出引脚                                      |
| 前级和后级输出引脚   | 集成电路前级和后级分别能输出信号引脚,有时有两根输出引脚,如果是双声道电路有四根输出引脚              |
| 输入、输出双重作用引脚 | 数字集成电路有输入、输出双重作用引脚,某引脚可以作为数据输入引脚为集成电路输入数据,也可以作为数据输出引脚输出数据 |

★13. 1. 3 集成电路电源脚和接地引脚外电路

1. 集成电路电源引脚和接地引脚外电路组合方式

集成电路电源引脚和接地引脚有下列 4 种电路组合形式:

- 1) 正极性直流电源供电电路,一根正极性电源引脚和一根接地引脚。
- 2) 负极性直流电源供电电路,一根负极性电源引脚和一根接地引脚。

3) 正、负极性直流电源供电电路, 一根正极性电源引脚, 一根负极性电源引脚, 一根接地引脚。

4) 正、负极性直流电源供电电路, 一根正极性电源引脚, 一根负极性电源引脚, 没有接地引脚。

## 2. 集成电路正极性直流电源供电电路

如图 13-1 所示是集成电路的正极性直流电源供电电路, 电路中的  $A_1$  是集成电路,  $+U_{CC}$  为正极性直流工作电压。

集成电路  $A_1$  的②脚是正极性电源引脚, ①脚是接地引脚。

直流工作电压  $+V_{CC}$  通过②脚加入集成电路内电路, 为内电路提供所需要的直流工作电压, 集成电路的电源引脚②脚外电路与整机直流电压供给电路相连。

注意: 集成电路电源引脚上的两只电容:  $C_1$  是直流电压的低频滤波电容, 它的负极接地线。 $C_2$  是直流电压高频滤波电容, 是容量很小的电容, 当电源回路中有高频干扰时, 由  $C_2$  将高频干扰滤波到地线。

注意接地引脚①脚外电路特征, 它与外电路中的地线相连。

这种电源、接地引脚的电流回路分析是: 直流电流从  $+V_{CC}$  端出发, 经集成电路  $A_1$  的②脚进入内电路, 然后从①脚流出, 经地线到达电源的负极成回路 (在正极性供电的电路中, 电源的负极接地)。

## 3. 集成电路负极性直流电源供电电路

如图 13-2 所示是集成电路负极性直流电源供电电路。电路中集成电路的①脚是接地引脚, ②脚是负电源引脚, 接负电源  $-U_{CC}$ 。 $C_1$  和  $C_2$  分别是直流电源的低频滤波电容和高频滤波电容。

负极性直流电压供电电路中, 电流回路是:  $-U_{CC}$  端是电源负极, 地线端是电源正极, 所以电流从地端流出, 经过集成电路  $A_1$  的①脚流入内电路, 然后内电路中所有的电流从负电源引脚②脚流出, 回到电池的负极  $-U_{CC}$  端成回路。

分析负极性直流电源供电电路时注意, 电源引脚上接滤波电容  $C_1$  正极接地, 因为电路中地端电位最高。

## 4. 无接地引脚的集成电路正、负极性直流电源供电电路

如图 13-3 所示是无接地引脚的集成电路正、负极性直流电源供电电路。在正、负电源供电电路中, 一般采用正、负对称电源供电, 即正电源电压大小绝对值等于负电源电压大小绝对值, 采用正、负对称电源供电集成电路可以没有接地引脚。

集成电路  $A_1$  的①脚是负电源引脚, 与负极性直流工作电压  $-U_{CC}$  端相连; ②脚是集成电路正电源引脚, 与电源的  $+U_{CC}$  端相连。

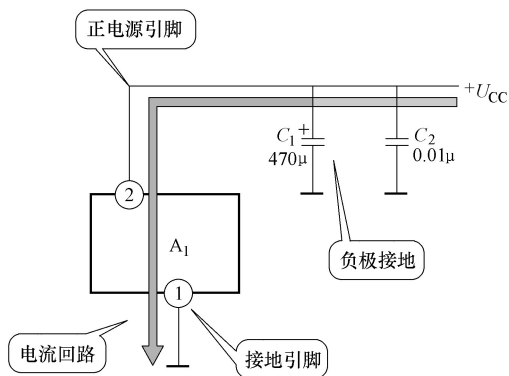


图 13-1 集成电路正电源引脚和接地引脚电路

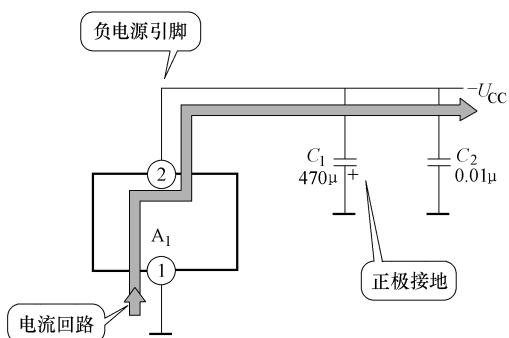
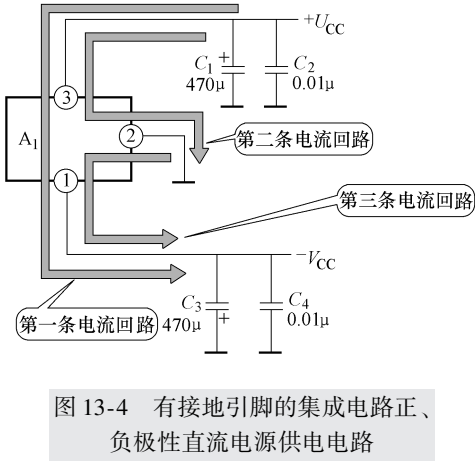
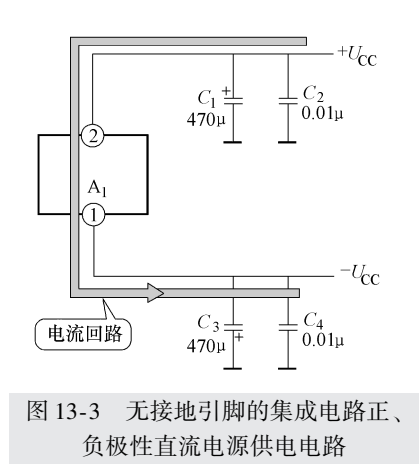


图 13-2 集成电路负电源引脚和接地引脚电路

由于集成电路没有接地引脚，所以流过集成电路的电流只有一条回路，即从  $+U_{cc}$  经②脚流入集成电路，内电路的电流从①脚流出到  $-U_{cc}$ ，成回路。

5. 有接地引脚的集成电路正、负极性直流电源供电电路

如图 13-4 所示电路是有接地引脚的集成电路正、负极性直流电源供电电路。电路中，①脚是集成电路  $A_1$  负电源引脚，③脚是  $A_1$  正电源引脚，②脚是集成电路接地引脚。



$C_1$  和  $C_2$  分别是正电源的低频滤波电容和高频滤波电容， $C_3$  和  $C_4$  是负电源的低频滤波电容和高频滤波电容。

整个集成电路需要分析三条电流回路：

- 1) 流过集成电路的电流从  $+U_{cc}$  端经③脚和集成电路的内电路，从①脚流出，到  $-U_{cc}$  端，成回路。
- 2) 流过集成电路的电流从  $+U_{cc}$  端经③脚和集成电路的内电路，从②脚接地引脚流出，经外电路中的地线到正电源的负极，即地线，成回路。
- 3) 电流从地端流出，即负电源的正极端，经②脚流入集成电路的内电路，再由①脚流出，到  $-V_{cc}$  端，成回路。

6. 电源引脚外电路特征识别方法小结

无论哪种集成电路的电源引脚，其外电路都有一个明显的特征：电源引脚与地之间接有一只容量较大的电源滤波电容。

在集成电路中，正极性电源引脚上的直流电压在所有引脚中最高，负电源引脚直流电压最低，接地引脚电压为 0V，如果电路图中标出集成电路各引脚直流工作电压，利用这一方法可以方便地识别出电源引脚。

如表 13-8 所示是集成电路各种电源引脚外电路特征。

7. 接地引脚外电路特征识别方法小结

接地引脚很容易识别，这一引脚与地线直接相连，以此特征很容易识别出集成电路的接地引脚。集成电路接地引脚外电路特征说明下列几点：

表 13-8 集成电路各种电源引脚外电路特征

| 电源引脚          | 说 明                                                                  |
|---------------|----------------------------------------------------------------------|
| 功率放大器集成电路电源引脚 | 与整机整流滤波电路直接相连,在整机电路中直流电压最高,引脚与地之间接有大滤波电容 (1000μF 左右),还并联有 0.01μF 小电容 |
| 其他集成电路电源引脚    | 与功率放大器集成电路电源引脚电路特征相似,只是引脚与地间所接滤波电容较小,没有高频滤波电容                        |
| 负电源引脚         | 与正电源引脚外电路特征相似,与地线之间所接电源滤波电容的正极接地                                     |

1) 有一个识别误区,一些集成电路在某个具体应用电路中,当某一根或几根引脚不使用时,会将这几根引脚直接接地,这时会给接地引脚的识别造成困难,可以查阅集成电路的引脚作用资料或集成电路手册加以确认。

2) 正极性电源供电的集成电路中,接地引脚的直流电压最低,为0V;在负极性电源供电的集成电路中,接地引脚的直流电压最高,也为0V。

3) 电路图中标出集成电路各引脚的直流工作电压,无论什么情况接地引脚都是0V,但是不能说明0V引脚都是接地引脚,因为有的引脚直流工作电压为0V,并不是接地引脚。

### ★13.1.4 集成电路输入引脚外电路

#### 1. 音频前置放大器集成电路输入引脚外电路特征分析方法

音频前置放大器集成电路输入引脚外电路特征是:前置集成电路输入引脚通过耦合电容与信号源电路相连。

如图13-5所示是音频前置放大器集成电路输入引脚外电路,电路中,①脚是音频前置放大器集成电路的输入引脚。集成电路的前级是信号源电路,在不同的整机电路中,具体的信号源电路不同。

电路中输入引脚①脚与信号源电路之间只有一只电容 $C_1$ ,由于是音频前置放大器,所以耦合电容 $C_1$ 容量比较大。

#### 2. 集成电路音频功率放大器输入引脚外电路

如图13-6所示是集成电路音频功率放大器输入引脚外电路,输入引脚外电路特征非常明显:输入引脚通过耦合电容与音量电位器动片相连,在整机电路中音量电位器只有一个,所以通过这一外电路特征能够方便地找出输入引脚。

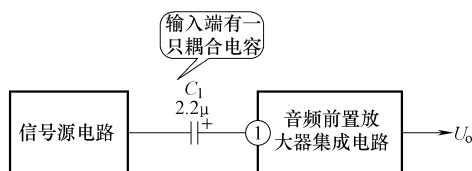


图 13-5 音频前置放大器集成电路输入引脚外电路

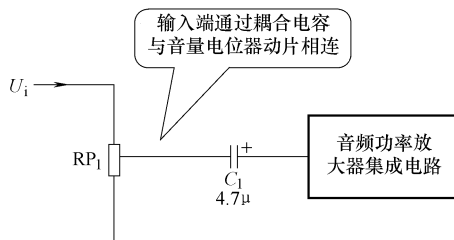


图 13-6 集成电路音频功率放大器输入引脚外电路

### ★13.1.5 集成电路输出引脚外电路

音频前置和功率放大器集成电路常用,它的输出引脚也有明显的电路特征,依据输出引脚外电路特征可以方便地从众多引脚中识别信号输出引脚。

#### 1. 音频前置放大器集成电路输出引脚外电路

如图13-7所示是音频前置放大器集成电路输出引脚外电路。 $A_1$ 是音频前置放大器集成电路,②脚是输出引脚。从图中可以看出,集成电路 $A_1$ 输出引脚②脚输出信号,通过耦合电容 $C_1$ 加到音量电位器 $RP_1$ 上。根据这一电路特征比较容易识别集成电路的输出引脚。

如果是双声道集成电路,左、右声道各一个输出引脚,其外电路特征相同。

#### 2. OTL 功率放大器集成电路输出引脚外电路

如图13-8所示是OTL功率放大器集成电路输出引脚外电路。①脚是接地引脚,②脚是输出引脚,③脚是电源引脚。

OTL功率放大器集成电路输出引脚外电路特征是:OTL功率放大器集成电路输出引脚②脚通过一只容量很大的电容 $C_1$ 与扬声器 $BL_1$ 相连,根据这一点可方便识别输出引脚。

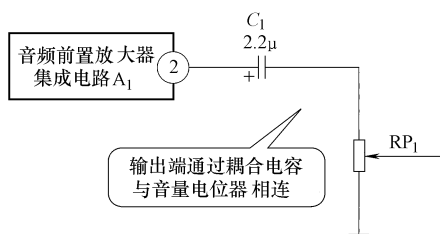


图 13-7 音频前置放大器集成电路输出引脚外电路

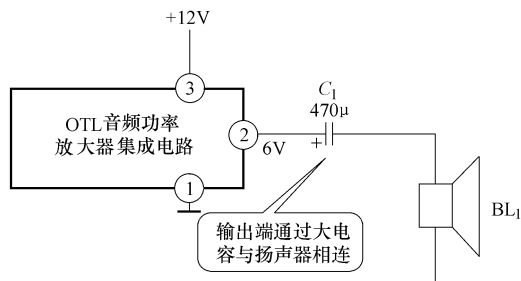


图 13-8 OTL 功率放大器集成电路输出引脚外电路

电路中的  $C_1$  是输出端耦合电容，其容量在  $470\mu\text{F}$  左右。电源引脚③脚工作电压为  $12\text{V}$ ，输出引脚②脚的直流工作电压是电源引脚的一半，为  $6\text{V}$ 。

无论是什么类型的 OTL 功率放大器（这种电路也有多种类型），输出引脚直流电压是电源电压的一半，这也是检修 OTL 功率放大器故障的关键测试点。只要测量 OTL 功率放大器集成电路输出引脚的静态（无信号输入下）直流工作电压等于电源引脚直流电压的一半，可以说明集成电路工作正常。

对于双声道 OTL 功率放大器集成电路而言，当两个声道信号输出引脚的静态直流工作电压都等于电源引脚直流电压的一半，集成电路工作正常。如果有一个信号输出引脚的静态直流工作电压不等于电源引脚直流电压一半时，说明集成电路已经出现故障。

### 3. OCL 功率放大器集成电路输出引脚外电路

如图 13-9 所示是 OCL 功率放大器集成电路输出引脚外电路。②脚是 OCL 功率放大器集成电路的信号输出引脚，这种功率放大器集成电路信号输出引脚外电路特征是：信号输出引脚②脚与扬声器直接相连，没有耦合元件，这是 OCL 功率放大器电路信号输出引脚外电路的一个明显特征，与 OTL 电路不同。

OCL 功率放大器采用正、负对称电源供电，集成电路  $A_1$  的①脚是负电源引脚，为  $-10\text{V}$ 。③脚是正电源引脚，为  $+10\text{V}$ ，输出引脚②脚的直流电压为  $0\text{V}$ ，这是 OCL 功率放大器电路的另一个特征。

由于②脚直流电压为  $0\text{V}$ ，所以扬声器  $BL_1$  可以直接地接在信号输出引脚②脚与地线之间，这时在扬声器两端没有直流电压，所以不会有直流电流流过扬声器  $BL_1$ 。

当 OCL 功率放大器出现故障时，输出引脚②脚上的直流电压可能不是  $0\text{V}$ ，由于扬声器  $BL_1$  的直流电阻很小，会有很大的直流电流流过扬声器  $BL_1$ ，烧坏扬声器  $BL_1$ 。为此，在实用电路中会在输出引脚②脚与扬声器  $BL_1$  之间接有扬声器保护电路。

### 4. BTL 功率放大器集成电路输出引脚外电路

如图 13-10 所示是 BTL 功率放大器集成电路输出引脚外电路。这种功放集成电路有两根输出引脚①脚和②脚。

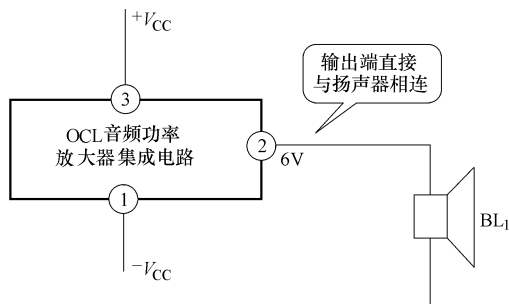


图 13-9 OCL 功率放大器集成电路输出引脚外电路

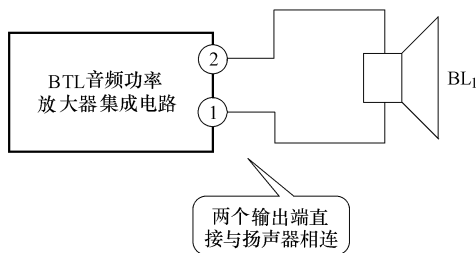


图 13-10 BTL 功率放大器集成电路输出引脚外电路



BTL 功率放大器集成电路输出引脚外电路特征是：扬声器直接地接在两根信号输出引脚之间，没有耦合元件，在实用电路中，扬声器回路也要接入扬声器保护电路。

BTL 电路有两种构成方式：一是采用两组 OTL 电路构成一组 BTL 电路，此时集成电路中只有一根电源引脚，两根输出引脚的直流工作电压是电源引脚上的直流工作电压一半。

另一种方式采用两组 OCL 电路构成一组 BTL 电路，此时集成电路具有正、负二根电源引脚，两根输出引脚的直流工作电压为 0V。

分辨是哪一种 BTL 功率放大器的方法是：根据集成电路有几根电源引脚，分辨出这两种 BTL 功率放大器。

### ★13.1.6 集成电路内电路几种主要元器件

#### 1. 三种主要元器件

在集成电路的内电路中，最基本和最多的元器件主要有三种：

(1) 二极管。通常是用晶体管改接成二极管。

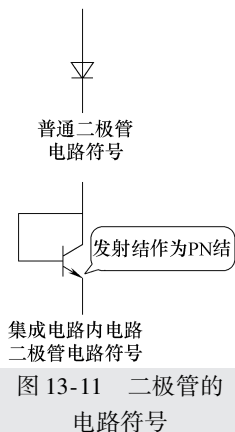
(2) 晶体管。这在集成电路的内电路大量使用，这一点与分立元器件电路有着重大的不同。集成电路内电路中的晶体管不仅作为放大之用，更多地还是作为二极管和恒流源等其他用途，因为在集成电路内电路中制造一只晶体管很简单。

(3) 电阻器。在集成电路内部制造电阻器比制造一只晶体管复杂，对于一些阻值很大的电阻要在集成电路的外电路中接入。

#### 2. 集成电路内电路中二极管

在集成电路内电路中，制造二极管主要有两种方式：一是直接制造一个 PN 结。二是先制造一个晶体管，然后将晶体管的集电极和基极短接，利用晶体管的发射结作为二极管，这种二极管的正向压降小、存贮时间短、开关速度快、但击穿电压低。

如图 13-11 所示是这种二极管的电路符号。显然，在集成电路的内电路中的二极管电路符号与分立元器件电路中的二极管电路符号不同，识图时要注意。在用晶体管作为二极管时，是使用的发射结作为 PN 结，从电路中可以看出这一点。



#### 3. 集成电路内电路中晶体管



#### 重要提示

集成电路内电路中制造一只晶体管所占芯片的面积很小，这样可以将电路结构设计得复杂些，以提高电路的性能，所以集成电路的内电路往往是相当复杂的，集成电路内电路中的晶体管特别多，是内电路的一个特点。

另外，由于在制造晶体管时的工艺、环境等是相同的，所以可以制成性能一致的晶体管。集成电路内电路中的晶体管  $\beta$  一般在 100 ~ 200 之间。由于散热不好的问题，集成电路中通常不宜制造大功率的晶体管。

如图 13-12 所示是集成电路内电路中 PNP 型和 NPN 型晶体管的电路符号，各管基极相连时可以采用这种省略的表示。注意，这一表示方式在分立元器件电路中是不采用的，只出现在集成电路的内电路中。

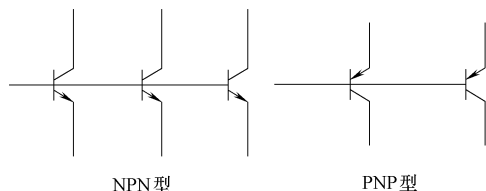


图 13-12 示意图

#### 4. 集成电路中的电阻器

在集成电路中制造电阻器的方法有多种，可以利用晶体管的基区扩散电阻作为电阻器，其阻值一





般在几欧至几十千欧。



重要提示

由于在集成电路内部制造大阻值电阻器所占的芯片面积大，很不经济，所以电路中如果必须采用大电阻时往往采用外接的方法获得，即通过一根引脚在外电路中接入大阻值的电阻器。

5. 集成电路中的电容器

集成电路中的电容器制造方法有下列三种：

- 1) 利用 PN 结电容的方法制造，这种电容器的容量较小，约为几到十几皮法，只适合于高频电路中使用。
- 2) 采用二氧化硅薄膜电容的方法制造电容，容量也很小，而且容量越大所占芯片的面积也越大。
- 3) 采用 MOS 电容（MOS 是金属—氧化物—半导体的简写）的方法制造电容，这种方式工艺复杂，容量为几十皮法。



重要提示

集成电路内电路中，由于制造电容器不方便和不能制造大容量的电容器，所以集成电路内电路通常采用直接耦合电路，在必须采用大容量的耦合电容器时，则通过引脚在外电路接入电容器。

6. 集成电路中的其他元器件

在集成电路内电路中，除制造上述几种基本的元器件之外，还可以制造稳压二极管、电感器等元器件。

在集成电路内部，制造电感器更难。如果集成电路工作中需要电感器，一般情况下是通过引脚在外电路中外接。

集成电路内电路中常常用到电流源，如图 13-13 所示是这种电流源电路符号，电流源用来输出电流。

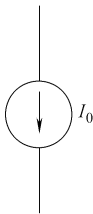


图 13-13 示意图

13.2 集成电路音频前置放大器

本节阅读建议：精心阅读，全面掌握集成电路音频前置放大器电路工作原理。

本节难度系数：5 级。

本节记忆系数：7 级。

如图 13-14 所示是某型号集成电路音频前置放大器实用电路，以这一电路为例，详细讲述集成电路音频前置放大器工作原理。

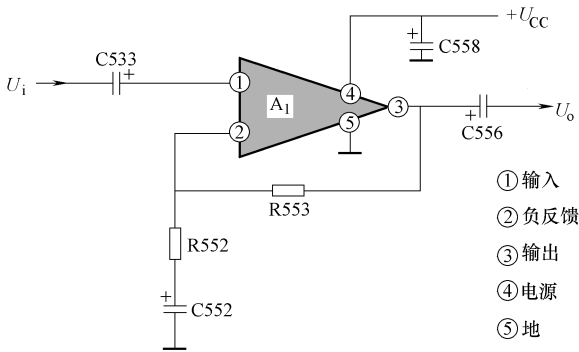


图 13-14 某型号集成电路音频前置放大器实用电路

★13.2.1 集成电路引脚作用和直流、交流电路分析

1. 集成电路引脚作用

分析集成电路工作原理的关键之一是要了解各引脚的作用。这一集成电路共有 5 根引脚，各引脚作用如表 13-9 所示。

表 13-9 引脚作用

|    |                                        |
|----|----------------------------------------|
| ①脚 | 信号输入引脚,用来将前级的信号输入到集成电路 $A_1$ 内部        |
| ②脚 | 负反馈引脚,用来外接负反馈电路中的元件                    |
| ③脚 | 信号输出引脚,用来将这一前置放大器的信号(电压信号)从集成电路内部输出到外部 |
| ④脚 | 电源引脚,为整个集成电路 $A_1$ 内部电路提供正极性直流工作电压     |
| ⑤脚 | 接地引脚,是整个集成电路 $A_1$ 内部电路的接地端            |

2. 直流电路和交流电路分析

1) 直流电路。集成电路的直流电路分析比较简单。电路中的直流工作电压  $+U_{cc}$  直接从④脚加到集成电路的内电路中，供给内部电路。集成电路内部所有电路的电流都从④脚流出这一集成电路，集成电路内电路通过这一引脚与外电路中的地线相连。地线与电源的负极性相连。

2) 交流电路。输入信号  $U_i$  经输入端耦合电容 C553，加到 A502 的输入端①脚，经  $A_1$  内电路前置放大器放大后从③脚输出，再经输出端耦合电容 C556 加到后级电路中。

★13.2.2 集成电路交流负反馈电路

集成电路放大器通常都存在负反馈电路，负反馈电路中的一部分电路在集成电路内电路中，另一部分电路通过集成电路的负反馈引脚外接，由于在集成电路外部负反馈电路不完整，给电路分析带来了困难，所以需要通过对负反馈引脚外电路来分析整个负反馈电路。

1. 集成电路负反馈引脚②脚外电路

电路中，R552 和 C552 构成交流负反馈电路，其中电容 C552 起隔直通交作用（C552 对音频信号呈通路），隔直的目的是为了不让直流成分通过，以便获得强烈的直流负反馈，以稳定集成电路 A502 的直流工作状态。

R552 是交流负反馈电阻，它的阻值一般在几十至几百欧姆。它的阻值越小，放大器的交流负反馈量越小，放大器闭环放大倍数越大，反之则放大倍数越小。

2. 集成电路内电路中负反馈电路

为了进一步结合集成电路的内电路来说明这一负反馈电路工作，将负反馈电路和集成电路内部电路画成如图 13-15 所示。

电路中， $VT_1$  和  $VT_2$  管构成差分输入级， $VT_1$  管基极为集成电路的同相输入端①脚， $VT_2$  管基极为集成电路的反相输入端②脚。电路中，R552、C552 和 R553 构成负反馈电路。

这一电路的分析要分成直流和交流负反馈两种情况：

1) 交流负反馈。C552 对交流信号的容抗为零，这样③脚输出信号  $U_o$  经 R553 和 R552 分压后大小为  $U_F$ ，该反馈信号电压通过②脚加到  $VT_2$  管基极。 $VT_2$  管基极电流越大， $VT_1$  管的基极电流越小，可见这是负反馈过程。这样，加到  $VT_2$  管基极的负反馈信号  $U_F$  越大，放大器负反馈量越大，放大器的闭环增益越小。

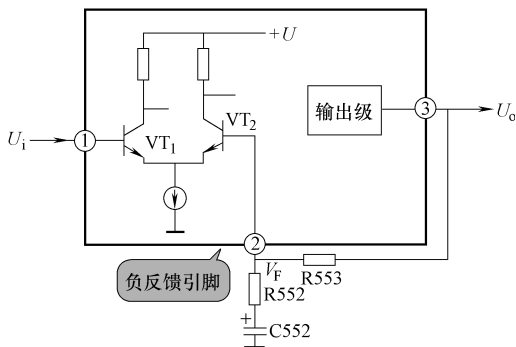


图 13-15 交流负反馈电路



在负反馈电阻  $R_{553}$  阻值不变时,  $R_{552}$  的阻值越大, 负反馈信号  $U_F$  越大。

2) 直流负反馈。对直流电流而言, 电容  $C_{552}$  开路, 这样  $R_2$  与  $VT_2$  管输入阻抗 (很大) 构成负反馈电路, 由于  $VT_2$  管的输入阻抗很大而具有强烈的直流负反馈。

许多集成电路放大器中,  $R_{553}$  这只负反馈电阻设在集成电路的内电路中, 外电路中只有  $R_{552}$  和  $C_{552}$  串联的交流负反馈电路, 如图 13-16 所示。

在一些集成电路中, 为了进一步减少外电路中元器件, 还将负反馈电阻  $R_{552}$  这样的电阻也设置集成电路的内电路中, 如图 13-17 所示。

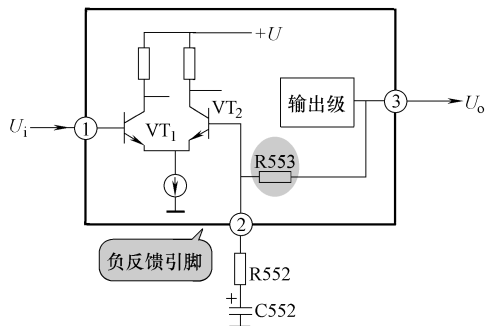


图 13-16 示意图

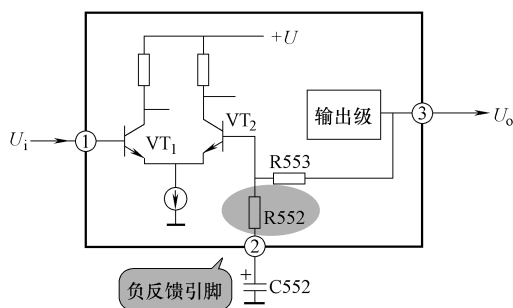


图 13-17 示意图

### 13.3 OTL 集成电路音频功率放大器

本节阅读建议: 精细阅读, 全面深入掌握 OTL 集成电路音频功率放大器电路工作原理。

本节难度系数: 4 级。

本节记忆系数: 8 级。

#### ★13.3.1 单声道 OTL 集成电路音频功率放大器

在所有集成电路电路中, 功率放大器集成电路的故障发生率最高, 这是因为这种集成电路工作在高电压、大电流、大功率的状态下, 比较容易出现故障。



#### 重要提示

OTL 功率放大器集成电路有两种: 一是单声道的 OTL 功率放大器集成电路; 二是双声道的 OTL 功率放大器集成电路。这两种集成电路工作原理是一样的, 只是双声道电路多了一个完全相同的声道。

如图 13-18 所示是典型的单声道 OTL 集成电路音频功率放大器。电路中,  $A_1$  为单声道 OTL 音频功放集成电路,  $U_i$  为输入信号, 这一信号来自前级的电压放大器输出端。  $RP_1$  是音量电位器,  $BL_1$  是扬声器。

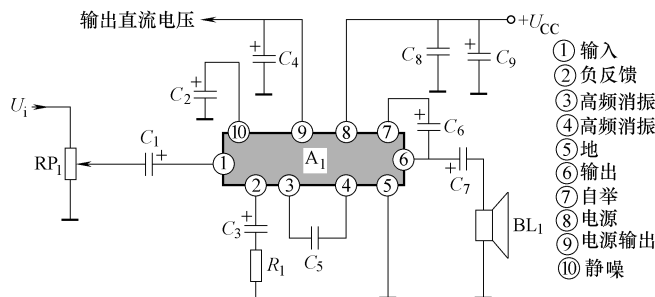


图 13-18 典型的单声道 OTL 集成电路音频功率放大器

关于典型的单声道 OTL 集成电路音频功率放大器工作原理分析需要分成以下几个部分进行。

**1. 掌握集成电路  $A_1$  各引脚作用**

分析集成电路工作原理的关键之一是要了解各引脚的作用。这一集成电路共有 10 根引脚，各引脚作用如表 13-10 所示。

表 13-10 引脚作用

|   |                                         |
|---|-----------------------------------------|
| ① | 信号输入引脚,用来输入所需放大的音频信号,与音量电位器 $RP_1$ 动片相连 |
| ② | 交流负反馈引脚,与地之间接入交流负反馈电路,以决定 $A_1$ 闭环增益    |
| ③ | 高频消振引脚,接入高频消振电容,防止放大器出现高频自激             |
| ④ | 另一个高频消振引脚,接入高频消振电容,防止放大器出现高频自激          |
| ⑤ | 接地引脚,是整个集成电路 $A_1$ 内部电路的接地端             |
| ⑥ | 信号输出引脚,用来输出经过功率放大后的音频信号,与扬声器电路相连        |
| ⑦ | 自举引脚,供接入自举电容                            |
| ⑧ | 电源引脚,为整个集成电路 $A_1$ 内部电路提供正极性直流工作电压      |
| ⑨ | 直流工作电压输出引脚,其输出的直流电压供前级电路使用              |
| ⑩ | 开机静噪引脚,接入静噪电容,以消除开机冲击噪声                 |

**2. 直流电路分析**

直流工作电压  $+U_{cc}$  从集成电路  $A_1$  的⑧加到内部电路中，集成电路内部所有的电流从  $A_1$  的⑤流出，经过地线到电源的负极。

**3. 交流电路分析**

音频信号传输和放大过程是这样：输入信号  $U_i$  加到音量电位器的热端，通过  $RP_1$  动片控制后音频信号通过  $C_1$  耦合，加到  $A_1$  的信号输入引脚①脚，经过集成电路  $A_1$  内电路功率放大后的信号从信号输出引脚⑥脚输出，通过输出端耦合电容  $C_7$  加到扬声器  $BL_1$  中。

**4. 集成电路输入引脚①脚电路**

集成电路的分析主要是外电路的分析，关键是搞清楚各引脚的作用和各引脚外电路中的元器件作用，为了做到这两点，首先要掌握各种作用引脚的外电路特征。

输入引脚用来输入信号，从①脚输入的信号直接加到集成电路  $A_1$  内部的输入级放大器电路中。①脚外电路接入耦合电容  $C_1$ ，称为输入端耦合电容，其作用是将集成电路  $A_1$  的①脚上直流电压与外部电路隔开，同时将音量电位器  $RP_1$  动片输出的音频信号加到集成电路  $A_1$  的①脚内电路中。

**重要提示**

音频功率放大器的输入电容一般在  $1 \sim 10\mu\text{F}$  之间，集成电路  $A_1$  输入端的输入阻抗越大，这一输入耦合电容  $C_1$  的容量可以越小，减小输入耦合电容的容量可以降低整个放大器的噪声。这是因为耦合电容的容量小了，其漏电流就小，而漏电流就是输入到下级放大器电路中的噪声。

**5. 集成电路交流负反馈引脚②脚外电路**

如图 13-19 所示，集成电路  $A_1$  的②脚与地端之间接一个  $RC$  串联电路  $C_3$  和  $R_1$ ，这是交流负反馈电路，一般情况下负反馈引脚的外电路就有这样的特征，利用这一特征可以方便地在集成电路  $A_1$  的各引脚上找出哪是负反馈引脚。

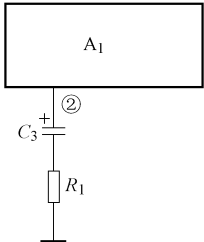


图 13-19 示意图

**重要提示**

音频功率放大器电路中，交流负反馈电路中的电容  $C_3$  一般为  $22\mu\text{F}$ ，其交流负反馈电阻  $R_1$  的



阻值一般小于  $10\Omega$ 。

### 6. 集成电路高频消振引脚③和④脚外电路

在集成电路  $A_1$  的③脚和④脚之间接入一只小电容  $C_5$  (几百皮法), 这是用来消除可能出现的高频自激的高频消振电容, 这种作用的电容在集成电路音频功率放大器和其他音频放大器集成电路中比较常见, 这里用如图 13-20 所示电路说明这一电容的工作原理。

电路中, 集成电路  $A_1$  的③脚和④脚内电路中是一只放大管  $VT_1$ , ③脚是该管的基极, ④脚是该管的集电极, 所以这一消振电容  $C_5$  实际上是接在放大管  $VT_1$  的基极与集电极之间, 构成高频电压并联负反馈电路, 用来消除可能出现的高频自激。

### 7. 集成电路高频消振电路的变异电路

音频放大器集成电路高频消振引脚也有例外情况, 就是集成电路的某一引脚与地之间接入一只几千皮法的小电容, 如图 13-21a 所示, 图 13-21b 所示是这一引脚的内电路示意图, 用这一内电路示意图可以说明这种消振电路的工作原理。

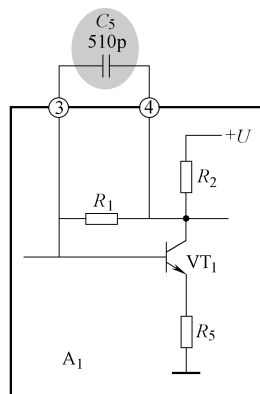


图 13-20 示意图

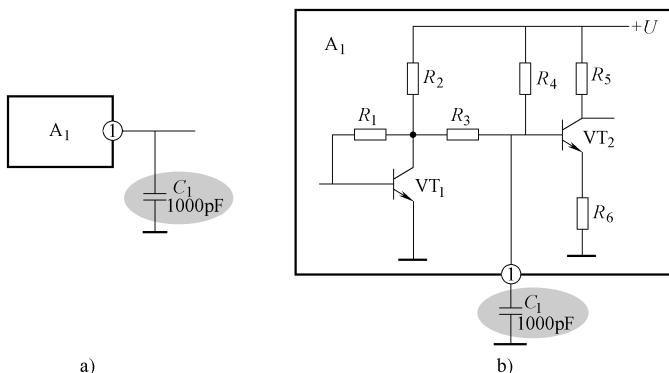


图 13-21 示意图

通过集成电路内电路可以明显地看出, 这是滞后式消振电路, 消振电容一般取几千皮法。

### 8. 自举引脚⑦脚外电路

如图 13-22 所示电路, 集成电路  $A_1$  的⑦脚是自举引脚, 这一引脚的外电路特征是这样: 该引脚与信号输出引脚之间接有一只几十微法的自举电容  $C_6$ , 且电容的正极接自举引脚, 负极接信号输出引脚, 在确定了信号输出引脚之后, 根据这一外电路特征可以方便地找出自举引脚。

功率放大器集成电路自举引脚及自举电容的工作原理可以用内电路来理解, 这是集成电路  $A_1$  的自举引脚和信号输出引脚内电路示意图, 也是 OTL 功率放大器的自举电路。

集成电路  $A_1$  的内电路中,  $VT_1$  和  $VT_2$  构成功率放大器的输出级电路, ⑥脚是信号输出引脚, ⑦脚是自举引脚, ⑧脚是直流工作电压引脚, 外电路中的  $C_6$  和内电路中的  $R_1$ 、 $R_2$  构成自举电路。其中,  $C_6$  为自举电容,  $R_1$  为隔离电阻,  $R_2$  将自举电压加到  $VT_1$  管的基极。

从电路中可以看出, 这是一个标准的自举电路, 在前面

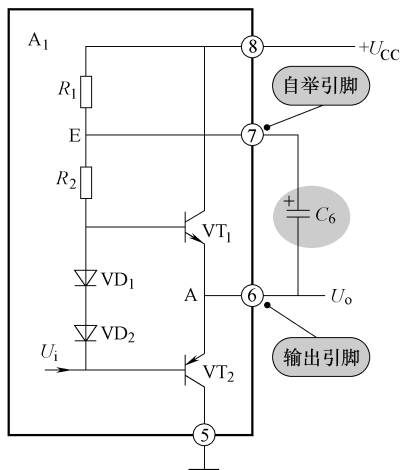


图 13-22 示意图

分立元器件 OTL 功率放大器中已有详细介绍,在此省略。分析集成电路 OTL 功放电路时,只要能识别出哪个是自举引脚,哪只是自举电容。

### 9. 前级电源输出引脚⑨脚外电路

如图 13-23 所示电路,集成电路  $A_1$  的⑨脚是前级电源输出引脚,该引脚的外电路特征是:与前级放大器的电源电路相连,且该引脚与地之间有一只几百微法的电源滤波电容  $C_4$ ,根据这一外电路可以方便地确定哪是前级电源引脚。

### 10. 开机静噪引脚⑩脚外电路

一些 OTL 功率放大器集成电路内电路中,为了消除接通电源时扬声器中发出“砰”的冲击噪声,在集成电路内电路中设置了开机静噪电路,如图 13-24 所示,其外电路中接入一只静噪电容,如图所示是集成电路静噪引脚⑩脚内电路及外电路,这一电路的特征是在静噪引脚⑩与地之间接入开机静噪电容的  $C_2$ 。

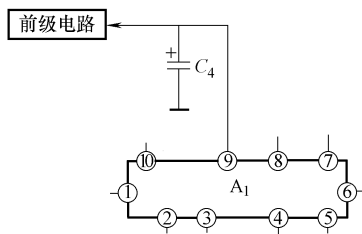


图 13-23 示意图

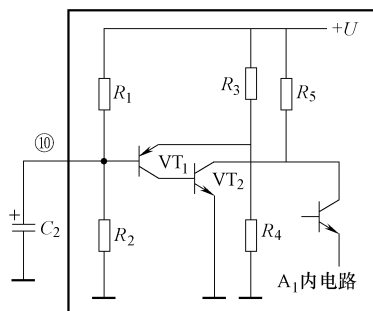


图 13-24 示意图

⑩脚是该集成电路的静噪控制引脚,  $C_2$  是开机静噪电容,一般为几十微法。内电路中,  $VT_1$  和  $VT_2$  等构成静噪电路,  $VT_3$  管是低放电路中的推动管。

这一电路工作原理是这样:内电路中,电阻  $R_1$  和  $R_2$  分压后的电压加到  $VT_1$  管基极,  $R_3$  和  $R_4$  分压后电压加到  $VT_1$  管发射极上,这两个分压电路使  $VT_1$  管基极上直流电压等于发射极上电压,这样在静态时  $VT_1$  管处于截止状态。

1) 开机瞬间。由于电容  $C_2$  两端的电压不能发生突变 ( $C_2$  内原先无电荷),使集成电路  $A_1$  的⑩脚电压为 0V,此时  $VT_1$  管处于导通状态,其集电极电流流入  $VT_2$  管基极,使  $VT_2$  管饱和,其集电极为低电位,将推动管  $VT_3$  基极对地端短接,使功率放大器输出级没有信号输出,这样开机时的冲击噪声不能加到扬声器中,开机时机器没有冲击噪声,达到开机静噪的目的。

2) 开机之后。直流工作电压 +V 通过  $R_1$  对电容  $C_2$  充电,很快使  $C_2$  充满电荷,  $C_2$  对直流而言相当于开路,此时  $VT_1$  管的基极电压由  $R_1$  和  $R_2$  分压后决定,此时  $VT_1$  管处于截止状态,使  $VT_2$  管截止,这样  $VT_2$  管对推动管  $VT_3$  的基极输入信号没有影响,此时没有静噪控制作用。

3) 关机后。电容  $C_2$  中的电荷通过  $R_2$  放电,使下次开机时静噪电路投入工作。

## ★13.3.2 双声道 OTL 集成电路音频功率放大器



### 重要提示

音频电器中,双声道电路是一种十分常见的电路形式,所谓双声道就是有左、右两个电路结构和元器件参数完全相同的电路。在立体声调频收音机、音响等中有着广泛应用。

双声道 OTL 集成电路音频功率放大器有下列两种组成方式,如图 13-25 所示。

1) 采用两个单声道的集成电路构成一个双声道电路,这两个单声道集成电路的型号、外电路结构、元器件参数等完全一样。



2) 直接采用一个双声道的集成电路, 这种电路形式最为常见。

如图 13-26 所示是双声道 OTL 功率放大器集成电路。电路中,  $RP_{1-1}$  和  $RP_{1-2}$  分别是左、右声道的音量电位器, 这是一个双连同轴电位器,  $BL_2$  和  $BL_1$  分别是左、右声道的扬声器。

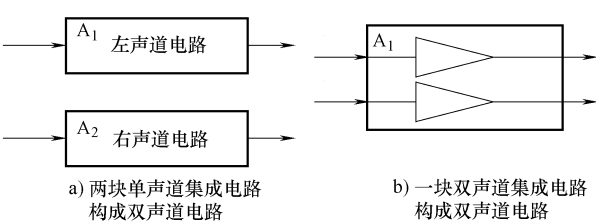


图 13-25 示意图

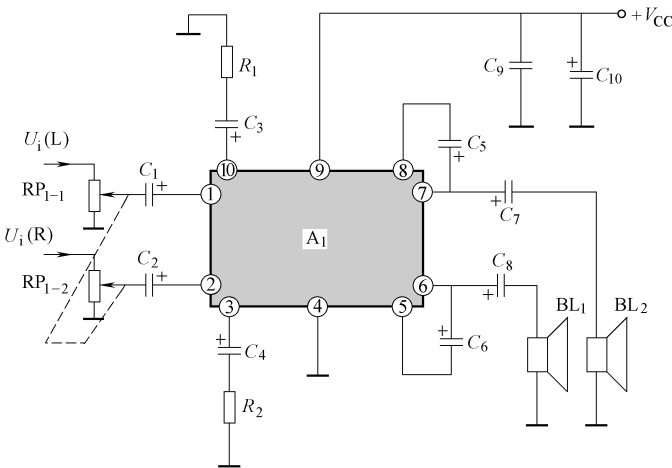


图 13-26 双声道 OTL 集成电路音频功率放大器

1. 集成电路  $A_1$  引脚作用

集成电路  $A_1$  共 10 根引脚, 为双声道 OTL 集成电路音频功率放大器, 各引脚作用如表 13-11 所示。

表 13-11 引脚作用

|    |                                         |
|----|-----------------------------------------|
| ①脚 | 左声道信号输入引脚,用来输入左声道信号 $U_i(L)$            |
| ②脚 | 右声道信号输入引脚,用来输入右声道信号 $U_i(R)$            |
| ③脚 | 左声道交流负反馈引脚,用来接入左声道交流负反馈电路 $C_4$ 和 $R_2$ |
| ④脚 | 接地引脚,这是左、右声道电路共用的接地引脚                   |
| ⑤脚 | 左声道自举引脚,用来接入左声道自举电容 $C_6$               |
| ⑥脚 | 左声道信号输出引脚,用来输出经过功率放大后的左声道音频信号           |
| ⑦脚 | 右声道信号输出引脚,用来输出经过功率放大后的右声道音频信号           |
| ⑧脚 | 右声道自举引脚,用来接入右声道自举电容 $C_5$               |
| ⑨脚 | 电源引脚,这是左、右声道电路共用的电源引脚                   |
| ⑩脚 | 右声道交流负反馈引脚,用来接入右声道交流负反馈电路 $C_3$ 和 $R_1$ |

2. 交流信号传输和放大分析

左、右声道电路的工作原理是一样的, 这里以左声道电路为例, 分析电路的左声道信号传输和放大过程。

左声道信号传输和放大过程是这样: 左声道输入信号  $U_i(L)$  经  $C_1$  耦合从集成电路  $A_1$  的信号输入引脚①脚送到内电路中, 经内电路中左声道功率放大器的功率放大后, 从集成电路的信号输出引脚⑦脚输出, 通过输出端耦合电容  $C_7$  加左声道扬声器  $BL_2$  中。

右声道电路与左声道电路对称，分析省略。



#### 重要提示

双声道 OTL 集成电路音频功率放大器与单声道 OTL 集成电路音频功率放大器相比，各引脚外电路的情况与单声道电路基本一样，只是多了一个声道电路。

双声道集成电路中，有的功能引脚左、右声道各一根，有的则是左、右声道合用一根。

#### 3. 输入和输出引脚电路分析

集成电路的信号输入引脚左、右声道各有一根，且外电路完全一样；集成电路的信号输出引脚左、右声道也是各有一根，而且外电路完全相同。

#### 4. 负反馈引脚电路分析

集成电路的交流负反馈引脚左、右声道各有一根，且外电路完全一样。

#### 5. 高频自激消振引脚电路分析

如果集成电路中有高频自激消振引脚（有的集成电路中没有这一引脚），也是左、右声道电路各一根引脚，外电路也一样。

#### 6. 旁路电容引脚电路分析

如果集成电路中有旁路电容引脚（多数集成电路中没有这一引脚），也是左、右声道各一根这样的引脚，外电路相同。



#### 重要提示

如果集成电路中设有开机静噪控制引脚（许多集成电路中没有这一引脚），只有一根这样的引脚，两个声道共用一根引脚。

从电路图中可以看出，左、右声道电路是上、下对称画出的，一般情况下上面是左声道电路，下面则是右声道。

#### 7. 双联同轴音量电位器电路

电路中， $RP_{1-1}$  和  $RP_{1-2}$  分别是左、右声道的音量电位器，这是一个双连同轴电位器，这种电位器与普通的单联电位器不同，它的两个联共用一个转柄来控制，当转动转柄时左、右声道电位器  $RP_{1-1}$ 、 $RP_{1-2}$  同步转动，这样保证左、右声道音量是同步、等量控制的，这是双声道电路所要求的。

#### 8. 电路分析小结

关于 OTL 功率放大器集成电路引脚外电路分析说明以下几点：

1) 除上述几种集成电路引脚之外，有些 OTL 集成电路音频功率放大器还有这么一些引脚：一是旁路引脚，它用来外接发射极旁路电容，该引脚外电路特征是该引脚与地之间接入一只几十微法电容，如图 13-27 所示；二是开关失真补偿引脚，该引脚与地端之间接入一只  $0.01\mu\text{F}$  左右电容。

2) 并不是所有的单声道 OTL 功率放大器集成电路中都有上述各引脚，前级电源引脚、旁路引脚一般少见，高频消振引脚在一些集成电路中也没有。

3) 当集成电路中同时有旁路电容引脚和开机静噪引脚时，这两个引脚的功能通过识图就很难分辨出来，因为这两个引脚的外电路特征基本一样，即引脚与地之间接入容量相差不大的电容。

分辨方法是这样：可将这两根引脚分别对地直接短路，若短路后扬声器中没有声音，说明该引

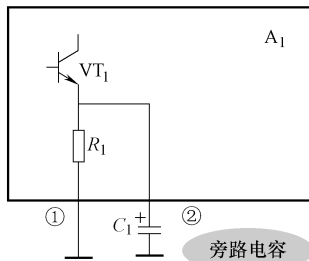


图 13-27 示意图



脚是静噪引脚。另一种方法是分别测量这两根引脚的直流电压，电压高的一根引脚是静噪引脚。

4) 在进行引脚作用分析过程中，自举引脚和输出引脚之间容易搞错，记住经过一只电容后与扬声器相连的引脚是信号输出引脚，如果错误地将自举引脚作为输出引脚的话，它要经过自举电容和输出耦合电容这两只电容后才与扬声器相连。

5) 如果采用两块单声道集成电路构成双声道电路时，一般情况下左、右声道电路在绘图时上下对称，上面一般是左声道电路，下面是右声道电路。

6) 对于双声道电路，在进行交流电路分析时，只要对其中的一个声道电路进行分析即可，因为左、右声道电路是相同的。

7) 双声道电路的分析方法同单声道电路基本一样，只是要搞清楚哪些引脚是左声道的，哪些是右声道的。

### 9. 快速电路分析方法训练

学习电路分析过程是一个知识积累的过程，有学习到一定程度之后没有必要按照书中前面所要求的那样分成直流电路、交流电路、元器件作用、电路故障分析等那样，可以学习快速分析方法，即知道电路中各元器件作用，能讲出这些元器件的名称，就能达到电路分析的目的。

例如，看出电容  $C_1$  是输入耦合电容，那么就说明已经掌握了该电容将前级信号加到后级去的作用，此外也可以知道它的隔开前级和后级电路的直流等耦合电容作用。

下面运用这一原理对前面 OTL 功能放大器集成电路进行快速电路分析方法学习，同时也复习和检验一下前面所学内容，如图 13-28 所示。

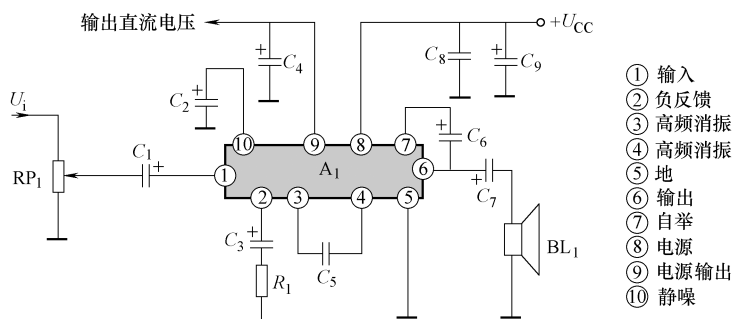


图 13-28 快速学习示意图

RP<sub>1</sub>—音量电位器  $C_1$ —输入耦合电容  $C_2$ —开机静噪电容  $C_3$ —交流负反馈电容  $C_4$ —退耦电容  $C_5$ —高频消振电容  
 $C_6$ —自举电容  $C_7$ —输出耦合电容  $C_8$ —高频滤波电容  $C_9$ —电源滤波电容  $R_1$ —交流负反馈电阻

## 13.4 OCL 和 BTL 集成电路音频功率放大器

本节阅读建议：仔细阅读，全面深入掌握 OCL 和 BTL 集成电路音频功率放大器电路工作原理。

本节难度系数：5 级。

本节记忆系数：7 级。



### 重要提示

OCL 和 BTL 音频功率放大器都有专门的集成电路，它们的工作原理与前面分立元器件 OCL 和 BTL 音频功率放大器一样，只是由于采用了集成电路，其具体的电路形式不同。

★13.4.1 单声道 OCL 集成电路音频功率放大器

OCL 集成电路音频功率放大器也有单声道和双声道电路之分，单声道与双声道的不同之处与 OTL 音频功率放大器单声道、双声道集成电路不同之处一样。

如图 13-29 所示是单声道 OCL 集成电路音频功率放大器，电路中  $RP_1$  是音量电位器， $U_i$  为输入信号， $A_1$  是 OCL 集成电路音频功率放大器， $BL_1$  是扬声器， $+U_{CC}$  和  $-U_{CC}$  分别是集成电路  $A_1$  的正、负电源，这种集成电路需要采用正、负对称电源，即正、负电源的电压绝对值相等。

1. 集成电路  $A_1$  引脚作用

集成电路  $A_1$  共有 9 根引脚，各引脚作用如表 13-12 所示。

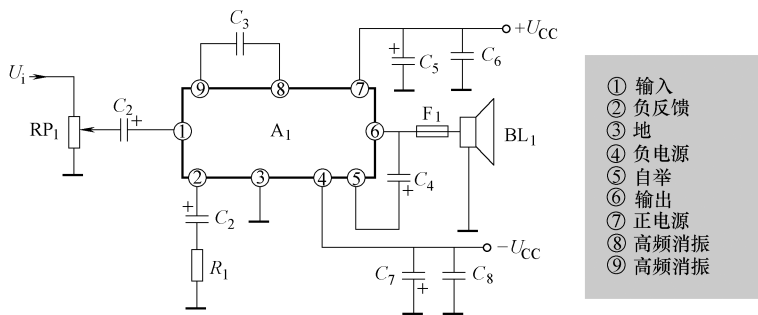


图 13-29 单声道 OCL 集成电路音频功率放大器

表 13-12 引脚作用

|   |                                             |
|---|---------------------------------------------|
| ① | 信号输入引脚,用来输入经过音量电位器控制后的音频信号                  |
| ② | 交流负反馈引脚,用来接入交流负反馈电路 $C_2$ 和 $R_1$           |
| ③ | 接地引脚, $A_1$ 内电路的地线由这一引脚与外电路电路板中的地线相连        |
| ④ | 负电源引脚,负极性直流工作电压 $-U_{CC}$ 由这一引脚加到 $A_1$ 内电路 |
| ⑤ | 自举引脚,用来接入自举电容 $C_4$                         |
| ⑥ | 信号输出引脚,用来接入负载扬声器 $BL_1$ ,⑥脚与 $BL_1$ 之间直接相连  |
| ⑦ | 正电源引脚,正极性直流工作电压 $+U_{CC}$ 由这一引脚加到 $A_1$ 内电路 |
| ⑧ | 高频消振引脚,用来接入高频消振电容 $C_3$                     |
| ⑨ | 另一个高频消振引脚,用来接入高频消振电容 $C_8$                  |

2. 交流电路分析

电路中，输入信号  $U_i$  经音量电位器  $RP_1$  控制后，由  $C_1$  耦合通过信号输入引脚①脚送入集成电路  $A_1$  内电路中，经过  $A_1$  的功率放大后，从信号输出引脚⑥脚输出，经熔丝  $F_1$  后推动扬声器  $BL_1$ 。

3. 集成电路各引脚外电路分析

OCL 集成电路音频功率放大器外电路与 OTL 集成电路音频功率放大器外电路十分相似，不同之处主要是两个：一是有两个电源引脚，一正一负；二是信号输出引脚外电路不同，输出回路中没有输出耦合电容。

1) 正、负电源引脚⑦脚和④脚外电路。电路中，正电源引脚⑦脚外电路与 OTL 功率放大器集成电路的电源引脚外电路一样，这一引脚上接有滤波电容  $C_5$  和高频滤波、退耦电容  $C_6$ 。

④脚是集成电路  $A_1$  的负电源引脚，它的外电路也有两只滤波、退耦电容，由于是负电源引脚，所以有极性滤波电容  $C_7$  的正极是接地的，负极与负电源引脚相连，在检修时一定要注意这一点，更换这一电容时极性不可接反。电容  $C_8$  是负电源引脚上的高频滤波、退耦电容，它的作用与  $C_6$  一样。

2) 信号输出引脚⑥脚外电路。从集成电路  $A_1$  的信号输出引脚⑥脚外电路中可以看出，这一引脚通过熔丝  $F_1$  直接与扬声器  $BL_1$  相连，不像 OTL 功率放大器集成电路的信号输出引脚回路中设



有一只输出耦合电容。



#### 重要提示

虽然 OCL 功率放大器集成电路的信号输出引脚外电路十分简单,但是这种电路有一个缺点,即很容易损坏扬声器  $BL_1$ ,为此要设置扬声器保护电路,设置一只过流保险丝是最简单的一种保护方法。

#### 4. 电路分析说明

关于单声道 OCL 功率放大器集成电路分析说明以下几点:

1) 双声道 OCL 功率放大器电路可以用一个双声道集成电路构成,也可以用两个单声道电路构成。分析双声道电路时,对于信号传输和放大电路分析只要分析一个声道电路即可,因为左、右声道电路是相同的。

2) 这一电路中的正、负电源采用对称电源,这是 OCL 功率放大器电路的一个特点。OCL 功率放大器电路与 OTL 功率放大器电路基本相同,只是采用两组不同极性的对称电源,同时输出端与扬声器之间采用直接耦合。

3) 对于双声道电路而言,再多一个声道电路,两个声道电路完全一样。双声道 OCL 集成电路的正、负电源引脚可以共用一根引脚,也有的是左、右声道分开的,接地引脚也可以分开或合用一根,不同型号的双声道 OCL 功率放大器集成电路,在有几根接地引脚、正电源引脚和负电源引脚是否是两声道共用有所不同。

4) 有的 OCL 功率放大器集成电路中没有接地引脚。

5) 由于扬声器直接接在功率放大器输出端与地端之间,当功率放大器电路出故障导致输出端直流电压不为 0V 时,因为扬声器的直流电阻很小而有很大电流流过扬声器,所以这种功率放大器电路很容易烧坏扬声器,为此在功率放大器输出端与扬声器之间要接入音箱保护电路。

### ★13.4.2 采用两个单声道 OCL 集成电路构成 BTL 电路

BTL 集成电路音频功率放大器的组成有两种情况:一是采用两个单声道集成电路的形式;二是采用 BTL 集成电路音频功率放大器。

如图 13-30 所示由两个单声道 OCL 集成电路构成单声道 BTL 音频功率放大器。电路中的  $A_1$  和  $A_2$  是两个单声道 OCL 集成电路音频功率放大器,  $VT_1$  管等元件构成了这一 BTL 功率放大器的分负载放大器。 $U_i$  为输入信号,  $BL_1$  是扬声器,  $+U_{CC}$  和  $-U_{CC}$  分别是正、负极性电源。

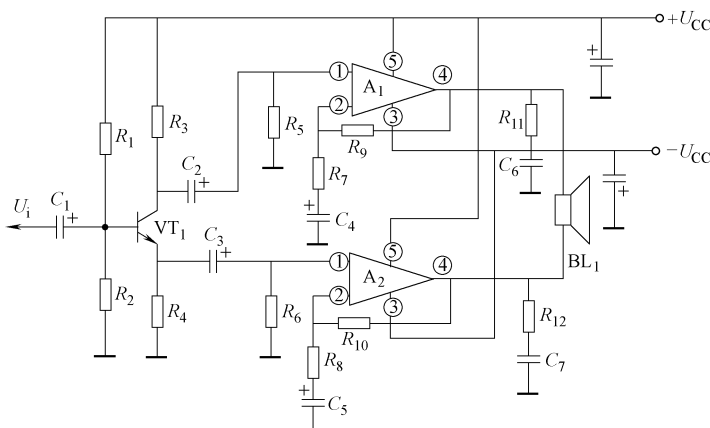


图 13-30 两个单声道 OCL 集成电路构成单声道 BTL 音频功率放大器

#### 1. 分负载放大器

单声道 BTL 功率放大器有两组功率放大器电路组成,所以需要两个大小相等、相位相反的信



号来激励,获得这种激励信号可以由多种方式,分负载放大器就是其中的一种,通常这一分负载放大器由分立元器件构成,由它输出大小相等、相位相反的两个信号,供给 BTL 功率放大器。

1) 直流电路分析。电路中,  $R_1$  和  $R_2$  构成  $VT_1$  管的基极分压式偏置电路,为  $VT_1$  管提供静态偏置电流。 $R_3$  是  $VT_1$  管的集电极负载电阻,  $R_4$  是  $VT_1$  管的发射极电阻,电阻  $R_3 = R_4$ 。

2) 交流电路分析。 $VT_1$  管集电极输出的交流信号大小等于集电极电流乘以集电极负载电阻  $R_3$ ,  $VT_1$  管发射极输出的交流信号大小等于发射极电流乘以发射极电阻  $R_4$ ,由于电阻  $R_3 = R_4$ ,集电极电流与发射极电流基本相等(只相差很小的基极电流),这样从  $VT_1$  集电极和发射极输出的信号大小是相等的。

根据共发射极放大器的相位特性可知,集电极的输出信号相位与基极信号相位相反,而发射极输出信号相位与基极信号相位相同,这样  $VT_1$  管集电极输出的信号相位与发射极输出的信号相位相反。

通过上述分析可知,从  $VT_1$  管集电极和发射极输出的两个信号具有大小相等、相位相反的特性,可以用来激励 BTL 功率放大器。

输入信号  $U_i$  经输入端耦合电容  $C_1$  加到  $VT_1$  管基极,经  $VT_1$  管放大和分负载后,得到两个大小相等、相位相反的输出信号,这两个信号分别经耦合电容  $C_2$  和  $C_3$  加到集成电路  $A_1$  和  $A_2$  的信号输入引脚①脚。

2. 集成电路各引脚作用

集成电路  $A_1$  和  $A_2$  是同一型号的单声道 OCL 集成电路音频功率放大器,5 根引脚,各引脚作用如表 13-13 所示。

表 13-13 引脚作用

|    |                                |
|----|--------------------------------|
| ①脚 | 同相信号输入引脚,用来输入 BTL 功率放大器中的一个信号  |
| ②脚 | 反相信号输入引脚,作为负反馈引脚,用来接入交流负反馈电路   |
| ③脚 | 负电源引脚,用来给集成电路内电路提供负极性直流工作电压    |
| ④脚 | 信号输出引脚,用来输出经 BTL 功率放大器电路放大后的信号 |
| ⑤脚 | 正电源引脚,用来给集成电路内电路提供正极性直流工作电压    |

从上表和电路中可以看出,这一集成电路没有接地引脚,如果该集成电路采用正极性的单电源供电,负电源引脚③脚就作为接地引脚使用。

这一集成电路的引脚比较少,引脚外电路十分简单,除交流负反馈引脚②脚外电路中接入负反馈电路外,其他引脚上没有元器件。

3. 元器件作用

1) 电阻  $R_5$  接在集成电路  $A_1$  的信号输出引脚①脚与地之间,为集成电路  $A_1$  的输入级放大器提供直流通路。

2) 电阻  $R_6$  接在集成电路的信号输出引脚与信号输入引脚之间,为内电路中的放大器提供直流负反馈,以稳定集成电路的直流工作状态。

3) 电阻  $R_7$  是交流负反馈电阻,其阻值大小决定了集成电路  $A_1$  的闭环放大倍数大小。

4) 电容  $C_4$  是交流负反馈回路中的隔直通交电容,使电阻  $R_7$  不产生直流负反馈。

5)  $R_1$  和  $C_6$ 、 $R_{12}$  和  $C_7$  分别是接在  $A_1$  和  $A_2$  信号输出引脚④脚与地之间,这是所谓的“茹贝尔网络”,用来改善音质,消除可能出现的高频自激,在 BTL 功率放大器电路中每一组功率放大器集成电路的信号输出引脚与地之间都要接入一个这样的“茹贝尔网络”电路。一般在功率放大器电路中都要接入这种电路。

4. 交流电路分析

关于这一单声道 BTL 功率放大器电路的交流电路分析主要说明以下几点:

1) 电路结构。BTL 功率放大器要用两组 OTL 或 OCL 功率放大器电路构成,电路中集成电路





$A_1$ 、 $A_2$  因采用正、负对称电源供电，所以这一电路是分别由两个单声道 OCL 功率放大器集成电路构成的单声道 BTL 功率放大器电路。

这一功率放大器需要一级分负载放大器  $VT_1$  电路，以得到两个大小相等、相位相反的激励信号。

2) 输出电路。扬声器  $BL_1$  直接地接在两组功率放大器集成电路  $A_1$  和  $A_2$  的信号输出引脚④脚之间，如图 13-31 所示，这是 BTL 功率放大器电路的一个特征，扬声器不接地（这种方式称为浮地），扬声器回路中没有隔直电容，因为两组 OCL 功率放大器集成电路  $A_1$  和  $A_2$  的信号输出引脚④脚上的直流工作电压相等，这样没有直流电流过扬声器  $BL_1$ 。

3) 正半周信号电流回路。当  $VT_1$  管集电极输出正半周信号时，集成电路  $A_1$  的信号输出引脚④脚输出正半周信号，同时  $VT_1$  管发射极输出负半周信号，经集成电路  $A_2$  放大后从信号输出引脚④脚输出负半周信号，这时输出信号电流流过扬声器  $BL_1$  的方向是：从集成电路  $A_1$  的信号输出引脚④脚输出，经扬声器  $BL_1$ ，从集成电路  $A_2$  的信号输出引脚④脚流入  $A_2$ ，因为这时集成电路  $A_2$  的信号输出引脚④脚输出的是负反周信号，即应该是流入信号，如图 13-32 所示。

4) 半周信号电流回路。当输入信号  $U_i$  变化后另一半周时， $VT_1$  管发射极输出正半周信号，使  $A_2$  的信号输出引脚④脚输出正半周信号，同时  $VT_1$  管集电极输出负半周信号，使  $A_1$  的信号输出引脚④脚输出负半周信号，这时的输出信号电流方向是这样：如图 13-33 所示，从集成电路  $A_2$  的信号输出引脚④脚输出信号，经扬声器  $BL_1$ ，从集成电路  $A_1$  的信号输出引脚④脚流入  $A_1$ 。这样，在  $BL_1$  中流过了一个完整周期的正、负半周信号。

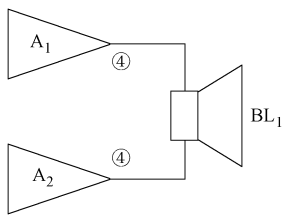


图 13-31 示意图

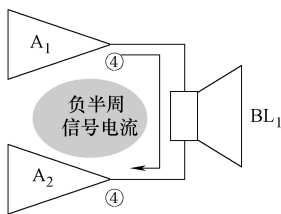


图 13-32 示意图

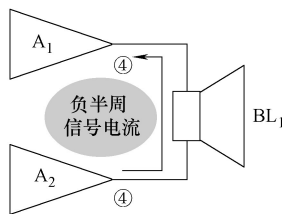


图 13-33 示意图

### ★13.4.3 单声道 BTL 集成电路音频功率放大器

如图 13-34 所示是单声道 BTL 集成电路音频功率放大器。集成电路  $A_1$  内电路中具有两组 OTL 集成电路音频功率放大器，还加入特殊的信号衰减电路（用于获得两个大小相等、相位相反的激励信号）。 $U_i$  是输入信号， $BL_1$  是扬声器，这一集成电路采用正极性的单电源供电，所以这是采用 OTL 电路形式构成的单声道 BTL 功率放大器集成电路。

#### 1. 集成电路各引脚作用

集成电路  $A_1$  共 14 根引脚，各引脚作用如表 13-14 所示。

#### 2. 交流电路分析

电路中，输入信号  $U_i$  经耦合电容  $C_2$  从集成电路  $A_1$  ③脚送入内电路中的一组功率放大器电路中，经放大后信号从信号输出引脚⑥脚输出。这一信号一路直接送到扬声器  $BL_1$ ，另一路要经过耦合电容  $C_8$ ，从另一组功率放大器电路的反相输入端⑨脚送入，经⑨脚内电路中的衰减电路将这一信号衰减后，输入  $A_1$  内部的另一组功率放大器电路中，经放大后从集成电路⑧脚输出。

通过上述电路的信号处理，集成电路  $A_1$  内部两组功率放大器电路都有了信号。由于⑥脚与③脚同相位，而输入端⑨脚是反相输入端，这样集成电路  $A_1$  的两个输出引脚⑥脚和⑧脚的信号相位相反。

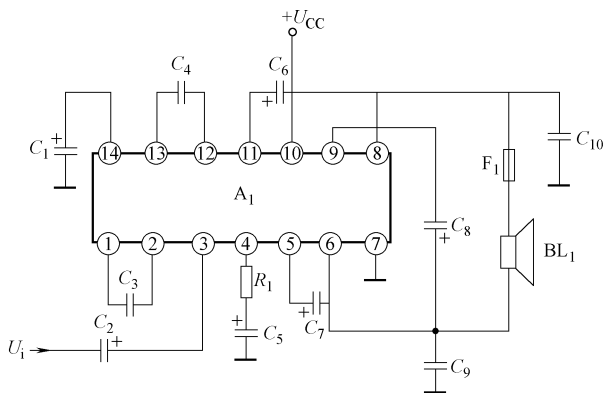


图 13-34 单声道 BTL 集成电路音频功率放大器

表 13-14 引脚作用

|    |                                               |
|----|-----------------------------------------------|
| ①脚 | 一组功率放大器电路的高频消振引脚 1-1,用来外接高频消振电容 $C_3$         |
| ②脚 | 一组功率放大器电路的另一个高频消振引脚 1-2,用来外接高频消振电容 $C_3$      |
| ③脚 | 一组功率放大器的信号输入引脚,这里作为 BTL 功放电路的输入引脚,输入 $U_i$ 信号 |
| ④脚 | 一组功率放大器的交流负反馈引脚,用来接入交流负反馈电路 $R_1$ 和 $C_5$     |
| ⑤脚 | 一组功率放大器的自举引脚,用来接入自举电容 $C_7$                   |
| ⑥脚 | 一组功率放大器电路信号输出引脚,这里是 BTL 功放电路的一个信号输出引脚         |
| ⑦脚 | 接地引脚                                          |
| ⑧脚 | 另一组功率放大器电路信号输出引脚,这里是 BTL 功放电路的另一个输出引脚         |
| ⑨脚 | 另一组功率放大器反相信号输入引脚,这里作为 BTL 功放电路的反相信号输入引脚       |
| ⑩脚 | 电源引脚                                          |
| ⑪脚 | 另一组功率放大器的自举引脚,用来接入自举电容 $C_6$                  |
| ⑫脚 | 另一组功率放大器电路的高频消振引脚 2-1,用来外接高频消振电容 $C_4$        |
| ⑬脚 | 另一组功率放大器电路的另一个高频消振引脚 2-2,用来外接高频消振电容 $C_4$     |
| ⑭脚 | 旁路引脚,用来接入旁路电容 $C_1$                           |

1) 正半周信号。正半周信号从集成电路  $A_1$  的一组功率放大器电路的信号输出引脚⑥脚输出,经扬声器  $BL_1$  和熔丝  $F_1$  流入集成电路  $A_1$  的⑧脚。

2) 负半周信号。负半周信号从集成电路  $A_1$  另一组功率放大器电路信号输出引脚⑧脚流出,经  $F_1$  和  $BL_1$  从⑥脚流入内电路。

### 3. 集成电路各引脚外电路分析

集成电路  $A_1$  内电路中含有两组功率放大器电路,其中①、②、③、④、⑤和⑥脚是一组电路,⑧、⑨、⑪、⑫和⑬脚是另一组电路,这一集成电路引脚外电路与前面介绍的 OTL、OCL 集成电路基本一样,只是有个别引脚的外电路有所不同。

⑨脚是一组功率放大器电路的反相输入引脚,通常它是交流负反馈引脚,但在这里则作为 BTL 电路的一个反相输入引脚,从集成电路  $A_1$  的⑥脚输出的信号,从⑨脚输入到  $A_1$  的另一组功率放大器电路,且为反向输入引脚,这样在⑨脚内电路经过足够的衰减后便能得到大小相等、相位相反的激励信号。⑨脚内电路中的信号衰减电路是这种 BTL 集成电路的特有电路,这一点与 OTL、OCL 集成电路不同。

⑭脚是集成电路  $A_1$  内电路中一级放大器的旁路引脚,用来在外电路中接入容量较大的旁路电容  $C_1$ 。

### 4. 其他电路分析

BTL 集成电路音频功率放大器虽然内电路中有两组功率放大器,但是在集成电路的外电路中只能见到一根交流负反馈引脚④脚,这一点在识图时要注意,也是 BTL 集成电路的特有情况。

扬声器  $BL_1$  通过熔丝  $F_1$  直接在集成电路  $A_1$  两组功率放大器的信号输出引脚⑥、⑧脚之间。

由于这种 BTL 功率放大器集成电路采用单电源供电,如同 OTL 功率放大器集成电路一样,所



以集成电路  $A_1$  的两个信号引脚⑥、⑧脚上的直流工作电压相等，且等于电源引脚⑩脚上直流工作电压一半。正是由于  $A_1$  的两个信号引脚⑥、⑧脚上的直流工作电压相等，扬声器  $BL_1$  才能直接接入电路，才没有直流电流流过扬声器  $BL_1$ 。

### 5. 电路分析小结

1) 电路中，在扬声器  $BL_1$  回路中接入了熔丝  $F_1$ ，它作为扬声器  $BL_1$  的过电流保护元件，但这种保护电路的效果不好。

2)  $C_9$  和  $C_{10}$  分别接在集成电路  $A_1$  的两组功率放大器电路信号输出引脚⑥脚、⑧脚与地之间，这是“茹贝尔网络”简化形式，即只接入电容，不接入电阻，其电路功能同“茹贝尔网络”一样。

3) 电容  $C_8$  将集成电路  $A_1$  的⑥脚输出信号从另一组功率放大器电路的反相输入引脚⑨脚输入，由于这一输出信号是经过功率放大的，所以幅度已经很大，为此要在集成电路  $A_1$  的⑨脚内电路中设置一个信号衰减电路，这一信号经衰减后才能加到另一组功率放大器电路的输入端。

## ★13.4.4 BTL 功率放大器的自倒相电路

### 1. 三种电路方式

在 BTL 功率放大器集成电路中，要给两组功率放大器电路输入大小相等、相位相反的信号，获得这两个信号的方法有以下 3 种：

- 1) 采用分立元器件的分负载放大器电路，以从集电极和发射极上输出两个信号。
- 2) 在 BTL 功率放大器集成电路内电路中设置一个信号衰减电路，从一组功率放大器电路输出引脚取出一部分信号，经衰减后从反相输入端加到另一组功率放大器电路的输入引脚。
- 3) 采用外电路方式进行信号衰减和倒相。

### 2. 外电路方式衰减和倒相电路

如图 13-35 所示是采用外电路方式进行信号衰减和倒相形式的单声道 BTL 功率放大器。电路中， $A_1$  和  $A_2$  是两个单声道的 OTL 功率放大器集成电路，由于内电路中没有衰减电路，所以要用外接衰减电路的方法。

电路中，集成电路  $A_1$  和  $A_2$  分别构成 BTL 功率放大器的两组放大电路，输入信号  $U_i$  经  $C_1$  耦合，从集成电路  $A_1$  的信号输入引脚①脚送入  $A_1$  中放大， $A_1$  信号输出引脚④脚输出信号的一部分经  $C_4$  耦合和可变电阻器  $RH_1$  从集成电路  $A_2$  的反相输入引脚②脚送入  $A_2$  的内电路中进行放大，从其④脚输出。集成电路  $A_1$  和  $A_2$  的④脚是这一放大器的两个信号输出引脚。

电路中，集成电路  $A_1$  的信号输出引脚④脚与  $A_1$  的信号输入引脚①脚信号相位相同，集成电路  $A_2$  的反相信号输入引脚②脚与  $A_2$  的信号输出引脚④脚信号相位相反，这样  $A_1$  的信号输出引脚④脚和  $A_2$  的信号输出引脚④脚信号相位相反。

调整可变电阻器  $RH_1$  的阻值大小，可以改变送入集成电路  $A_2$  的反相信号输入引脚②脚信号大小，通过调整可变电阻器  $RH_1$  的阻值，使输入集成电路  $A_2$  的反相信号输入引脚②脚信号与输入集成电路  $A_1$  的信号输入引脚①脚信号大小相等。

### 3. 电路分析小结

1) BTL 功率放大器集成电路无论是采用 OTL 电路还是 OCL 电路形式，在扬声器回路都没有输出回路的耦合电容，这一点与 OCL 电路相同。

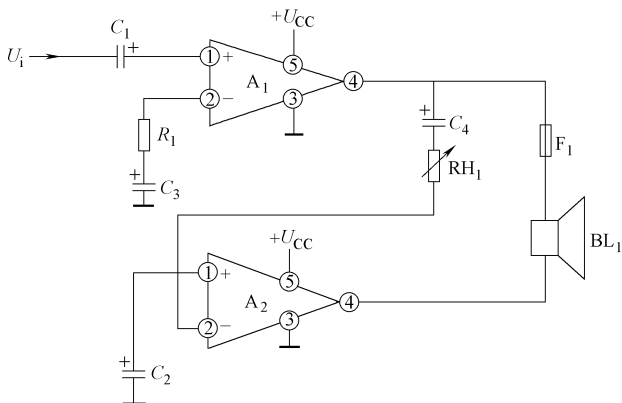


图 13-35 自倒相电路



2) 分析 BTL 功率放大器集成电路时, 最重要的是分析电路如何获得两个大小相等、相位相反的激励信号, 不同的 BTL 功率放大器电路有不同的激励信号获得方式, 有点为分立元器件构成负载放大器电路, 有的则在设置在集成电路内电路中。

### 13.5 集成运算放大器

本节阅读建议: 详细阅读, 全面掌握集成运算放大器电路工作原理。

本节难度系数: 6 级。

本节记忆系数: 7 级。

通俗地讲, 运算放大器是一种开环放大倍数高达万倍的直流放大器, 它早期用于模拟计算机中作为基本运算单元, 完成加、减、乘、除等数学运算, 所以有运算放大器之称。

但是, 集成运算放大器是一种通用性很强的集成电路, 是集成化的运算放大器。



#### 重要提示

集成运算放大器是制作在硅芯片上的一个完整的多级直流放大器, 目前大量使用的运算放大器为集成运算放大器, 它又称固体组件运算放大器, 简称集成运放。现在集成运放广泛用于信号放大、检测、变换等方面。

#### ★13.5.1 集成运算放大器基础知识

##### 1. 集成运算放大器特点

1) 通用性强。它能够广泛地应用于许多功能电路中, 如构成减法器、恒压源电路、音频放大器、直流放大器、+1 放大器等, 在各种放大器中它相当于一个最基本的放大单元。

2) 两大类应用。一是线性运用时工作在线性状态, 可以视集成运放为一个深度负反馈运用的放大单元。二是非线性运用时工作在非线性区。

3) 开环增益大。这种放大器没有加入负反馈前的开环增益很大, 一般为 60 ~ 140dB, 工作不稳定, 稍有干扰这种放大器将输出很大的干扰信号, 所以应用时都要加入负反馈。加入负反馈之后, 放大器的闭环增益将下降。

4) 共模抑制比大。通常大于 80dB。

5) 基本功能引脚。两个输入引脚, 一个输出引脚, 还有电源引脚和接地引脚。

6) 两种供电方式。可以用单电源供电, 也可以用正、负对称的双电源供电, 同一个集成运放通过改变电源供给电路可以用这两种供电方式。

##### 2. 集成运放算放大器内电路特点

集成电路运算放大器的内电路特点与集成电路的制造工艺相关, 这里简要说明下列几点。

|             |                                                                                           |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 两个输入端和一个输出端 | 内电路的输入级采用双端输入式差分放大器。双端输出式差分放大器有两个输出端, 所以输出级采用单端化电路, 将两个输出端改成一个输出端                         |
| 甲乙类状态       | 输出级电路一般采用工作在甲乙类状态下的互补对称或准互补对称放大器                                                          |
| 直接耦合方式      | 内电路中设有恒流源电路、直流移位电路等。内部电路全部采用直接耦合电路, 可以放大直流信号和变化缓慢的信号(频率很低的信号)                             |
| 多种放大器件      | 内电路不仅可以用双极性晶体管构成电路, 还可以用 N 沟道和 P 沟道的 MOS 场效应晶体管构成电路, 这两类不同导电性质的场效应晶体管可以组成互补放大器, 称 CMOS 电路 |
| 差分放大是主要放大器  | 内电路采用差分放大器作为“主力”放大器, 以提高这些差动放大器的共模抑制比和降低零点漂移等, 普遍采用恒流源作为放大管的集电极负载、发射极电阻, 还采用复合管构成差分放大器    |

##### 3. 了解相关准备知识

分析集成运算放大器应该了解和掌握下列一些知识点:



|            |                                                                              |
|------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 了解集成电路内电路  | 了解晶体管接成的二极管电路,各种电流源电路、恒流电路、电平移位电路等,集成电路内电路中有许多电路与分立元器件电路工作原理相同,电路分析方法相同      |
| 了解直接耦合特性   | 低频特性好,可以让直流电流通过耦合电路,参与直接耦合的各放大器之间直流电路相互影响,整个直流放大器会产生零点漂移现象等                  |
| 了解抑制零点漂移方法 | 了解直流放大器中抑制零点漂移的措施和电路的工作原理                                                    |
| 掌握负反馈电路    | 掌握负反馈电路的分析方法和负反馈放大器的工作原理                                                     |
| 掌握差分放大器    | 掌握差分放大器工作原理,特别是双端输入式差分放大器工作原理,以及这种放大器主要特性,例如差模信号和共模信号概念,差模放大倍数和共模放大倍数,共模抑制比等 |
| 一个注意点      | 分析集成运放电路工作原理时,通常情况下是不需要分析其集成电路内电路工作原理,但是需要掌握集成运放电路的基本功能和特性                   |

★13.5.2 集成运算放大器的电路符号、电路组成及各单元电路作用

1. 电路符号

如图 13-36 所示是集成运算放大器的 3 种电路符号。

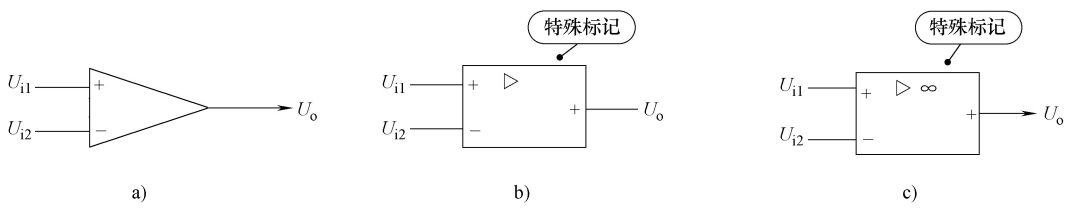


图 13-36 集成运算放大器 3 种电路符号

- 1) 符号含义。电路符号中都有一个三角形,用来表示集成运放,而且引脚上标有“+”、“-”极性,表示输入信号与输出信号之间的相位关系。
- 2) 三根引脚。两根为输入引脚,另一根是输出引脚,电源引脚和接地引脚没有表示。
- 3) 输入引脚极性。两个输入引脚中有极性之分:一个是同相输入端,用“+”号表示;另一个是反相输入端,用“-”表示。

2. 集成运算放大器电路组成框图

如图 13-37 所示是集成运算放大器电路组成框图。

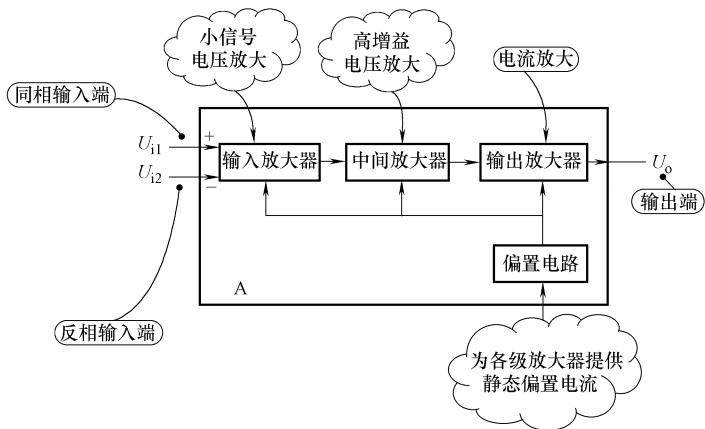


图 13-37 集成运算放大器电路组成框图





集成运算放大器由 5 个部分组成。

- 1) 输入放大器。输入放大器采用双端输入式差分放大器，为了减小零点飘移和具有较高的输入电阻、一定的电压放大倍数，通常采用带射极恒流源的双端输入式差分放大器。
- 2) 中间放大器。整个集成运放的增益由中间放大器保证，而集成运放的增益要求比较高，所以中间级对整个集成运放很重要。
- 3) 输出放大器。整个集成运放的输出特性由输出放大器决定，例如集成运放的输出电阻大小、带负载能力、输出电流大小等。
- 4) 偏置电路。集成运放中的各级放大器需要直流偏置电流，各只放大管需要合适的直流工作点，这由直流偏置电路统一提供。
- 5) 辅助电路。直流电平移位电路等。

3. 集成运算放大器各单元电路

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 输入放大器  | (1)输入放大器对集成运放的输入电阻、抑制零点飘移、提高共模抑制有决定性的影响<br>(2)允许有较大范围的共模信号输入,以防止幅度较大的共模信号损坏集成运放<br>(3)通常情况下输入放大器采用双端输入双端输出式差分放大器,它的共模抑制比双端输入单端输出式差分放大器高,抑制零点飘移的能力更强,但是有些集成运放中需要采用双端输入单端输出式差分放大器                                                                                                |
| 中间级放大器 | (1)中间通常采用一级或二级带射极恒流源电路的共发射极放大器(共发电路电压增益大),中间放大级还要加入补偿电路和直流电平移位电路等<br>(2)有的中间级采用双端输入单端输出式差分放大器,以完成单端化任务,为单端输入式的输出级放大器做好准备<br>(3)电压放大器级数越少越好,早期的集成运放有 3 至 4 级,从第二代产品起一般减少到 2 级。电压放大器级数减小,高频转折频率就少,集成运放的附加相移量就小,有利于补偿电路的设置,更有利于在集成电路内电路中进行补偿电路的设计                                 |
| 输出级放大器 | (1)在输出放大器电路中设置有完善的过载保护电路<br>(2)要求输出放大器的输出信号电压范围足够大(如 $\pm 12\text{V}$ )<br>(3)功耗小,效率高<br>(4)综合对输出放大器的基本要求,集成运放的输出放大器采用射极输出器(共集电极放大器),或采用甲乙类互补对称功率放大器(也是一种射极输出器),这类放大器输出电阻小,带负载能力强。由于射极输出器只有电流放大没有电压放大,所以输出放大器没有电压放大,只有电流放大<br>(5)集成电路运放的保护电路分为内电路保护和外电路保护两大类,内电路保护电路设置在集成电路的内部 |
| 直流偏置电路 | (1)直流偏置电路是一个系列的电流源电路,即有若干个电流源电路组合在一起。在电流源电路中,基准电流的稳定直接影响到电流源的稳定,所以集成运放系列电流源采用一个共同的基准电流,这样不仅可以提高电流源的稳定性,还可以降低集成电路内电路中的元件电阻等<br>(2)对直流偏置电路的基本要求是工作稳定,受温度影响小<br>(3)在系列的电流源电路中,根据对直流偏置电流的不同要求,主要采用比例恒流源电路、微电流源电路、镜像电流源电路等                                                          |

★13. 5. 3 集成运算放大器输入输出信号相位特性和输出信号电压

1. 集成运算放大器输入输出信号相位特性

关于集成运放输入输出信号之间相位关系特性说明下列 3 点:

- 1) 所谓同相和反相是指输入端与输出端之间信号电压相位关系，同相输入端与输出端的信号电压相位相同，反相输入端与输出端信号相位相反。
- 2) 反相输入端信号电压不变时，同相输入端的输入信号电压增大，输出端的信号也在增大；同相输入端的输入信号电压减小，输出端的信号也在减小。
- 3) 同相输入端信号电压不变时，反相输入端的信号电压增大，输出端的信号电压减小；反相输入端的信号电压减小，输出端的信号电压增大。

2. 集成运算放大器输出信号电压

集成运放的输出电压公式：



$$U_o = A_o (U_{i1} - U_{i2})$$

式中,  $U_o$  为集成运放的输出电压;  $A_o$  为集成运放的开环放大倍数;  $U_{i1}$  为集成运放同相输入端信号电压;  $U_{i2}$  为集成运放反相输入端信号电压。

当输入信号电压  $U_{i1}$  大于输入信号  $U_{i2}$  时, 输出信号电压  $U_{o1}$  大于零 (为正)。

当输入信号电压  $U_{i1}$  小于输入信号  $U_{i2}$  时, 输出信号电压  $U_{o1}$  小于零 (为负)。

### ★13.5.4 集成运算放大器应用及电路分析方法

集成运放是一种通用性很强的器件, 它的工作状态根据运用时的工作状态不同, 呈现不同特点。通常可以根据集成运放的工作状态进行应用分类, 主要有两大类: 线性运用和非线性运用。

#### 1. 集成运算放大器线性区和非线性区

如图 13-38 所示是集成运放线性区输入输出特性曲线,  $X$  轴是集成运放的输入信号电压, 即同相输入端信号电压  $U_{i1}$  与反相输入端信号电压  $U_{i2}$  之差;  $Y$  轴是集成运放的输出信号电压, 即输出端的信号电压。关于这一特性曲线主要说明下列 4 点:

实线所示是理想集成运放的特性曲线, 虚线所示是实际集成运放的特性曲线。线性区就是输出信号电压  $U_o$  正向最大值  $+U_{om}$  至反向最大值  $-U_{om}$  之间的区域。当集成运放工作在线性区时, 它的输出信号电压值就在这一区域内变化。

对于输入信号  $U_{i1} - U_{i2}$  而言, 线性区域很小。

线性区之外的是集成运放的非线性区, 当集成运放工作在线性区时, 它的输出信号电压要么是  $+U_{om}$  值, 要么是  $-U_{om}$  值。

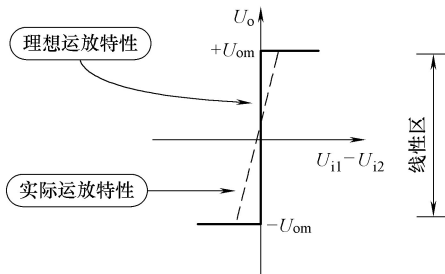


图 13-38 集成运放线性区输入输出特性曲线

#### 2. 集成运算放大器线性运用

为了便于进一步理解集成运放在线性运用下的工作状态, 借晶体管的放大状态来说明, 线性运用状态下的集成运放如同晶体管工作在放大状态一样。线性运用时, 集成运放带有深度的负反馈。集成运放线性运用说明下列几点:

1) 线性运用时集成运放工作在线性状态下, 即输出量与输入量之间呈线性状态, 但是整个电路的输出量与输入量之间可以是非线性的。

2) 线性运用中, 当集成运放用来构成加法器、减法器、微分和积分等电路时, 其整个运算都是线性的。

3) 当集成运放用来构成对数电路、指数电路、乘法器和除法等电路时, 虽然集成运放本身工作在线性区, 但是整个运算却是非线性的。

#### 3. “虚短”和“虚断”

虚短和虚断在分析线性运用的集成运放中经常用到, 得深入理解这两种概念, 灵活运用这两种概念去分析集成运放电路工作原理。

1) “虚短”。集成运放的同相输入端信号电压与反相输入端信号电压接近相等, 同相输入端与反相输入端之间输入信号电压之差接近于零 (不是等于零), 两输入端不是真正意义上的短路, 这称为“虚短路”, 简称“虚短”。

2) “虚断”。集成运放的同相输入端与反相输入端的输入信号电流接近相等, 同相输入端与反相输入端之间输入信号电流之差接近于零 (不是等于零), 两输入端不是真正意义上的断路, 这称为“虚断路”, 简称“虚断”。

#### 4. 集成运算放大器非线性运用

为了便于进一步理解集成运放在非线性运用下的工作状态, 借晶体管的饱和、截止状态来说明, 非线性运用状态下的集成运放如同晶体管工作在饱和、截止状态一样。集成运放的非线性运用

主要说明下列 4 点：

- 1) 集成运放应用在非线性电路中时，运放本身不带负反馈，或者带有正反馈，这一点与线性运用时明显的不同，依据这一点可以了解集成运放的运用状态。
- 2) 非线性运用状态下的集成运放输出量与输入量之间为非线性的，其输出端信号电压或为正饱和值，或为负饱和值。
- 3) 非线性运用状态下，虽然同相输入端和反相输入端上的信号电压不相等，由于集成运放的输入电阻很大，所以输入端的信号电流很小而接近于零，这样集成运放仍然具有虚断的特点。
- 4) 集成运放在非线性运用状态下，由于同相输入端和反相输入端上的信号电压大小不等，所以没有虚短的特点。

### ★13.5.5 集成运算放大器两种电压供给电路

集成运放可以采用单电源和正负对称双电源两种供电方式。

#### 1. 单电源和双电源供电电路

(1) 单电源供电电路。如图 13-39 所示是集成运放单电源供电电路。

集成运放的单电源供电电路与普通集成电路的单电源供电电路一样，运放集成电路有一个电源引脚⑤脚，这是正极性直流电源引脚，正极性的直流工作电压  $+U_{CC}$  从⑤脚加到集成电路 A 的内电路中。

接地引脚是③脚，集成电路 A 内部的所有电流从③脚流出，通过地线回到正极性电源  $+V_{CC}$  的负极。

①脚是同相信号输入引脚，②脚是反相信号输入引脚，④脚是输出信号引脚。

(2) 正负对称双电源供电电路。如图 13-40 所示是集成运放正负对称双电源供电电路。

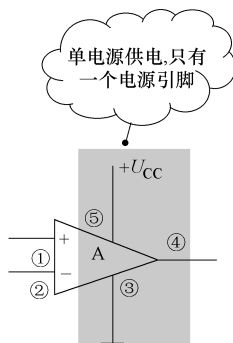


图 13-39 集成运放单电源供电电路

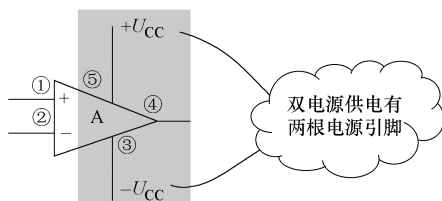


图 13-40 集成运放正负对称双电源供电电路

正负对称双电源供电时，集成运放的接地引脚变成负电源引脚，③脚是负电源引脚，负电源用  $-U_{CC}$  表示，正电源引脚⑤不变。

正负对称是指正极性  $+U_{CC}$  直流电压的电压大小等于负极性电源  $-U_{CC}$  的电压大小。

#### 2. 单双电源之间转换

通用的集成运放一般采用正负对称双电源供电方式，标准直流工作电压是  $\pm 15V$ ，即  $+15V$  和  $-15V$ 。也有专门用单电源供电的集成运放，这时的直流工作电压为  $30V$  或更低。

#### 重要提示

单电源供电方式电源电路比较简单，采用一组降压、整流和滤波电路。

正负对称双电源供电方式电源电路复杂，要求有两组降压、整流和滤波电路。

两种不同直流电源供电状态下，集成运算放大器同相输入引脚、反相输入引脚和输出引脚直流电压不同。如图 13-41 所示可以说明两种供电方式输出端输出电压变化示意图。

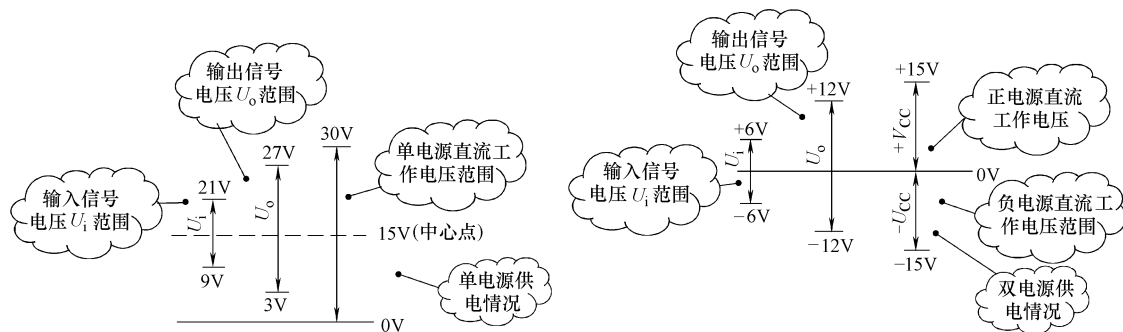


图 13-41 两种供电方式输出端输出电压变化示意图

1) 单电源供电状态。直流工作电压采用30V，输入信号电压在9~12V之间变化，输出信号电压则相应地在3~27V之间变化。15V为中心电压，即直流工作电压的一半值。

2) 正负对称双电源供电状态。直流工作电压采用 $\pm 15\text{V}$ ，输入信号电压在 $-6\sim +6\text{V}$ 之间变化，输出信号电压则相应地在 $-12\sim +12\text{V}$ 之间变化，0V为中心电压。



#### 重要提示

中心点电压对检修集成运放电路很重要，静态（没有输入信号）时中心点电压不对，说明集成运放电路工作不正常。

### ★13.5.6 由集成运算放大器构成的音频放大器

如图13-42所示是集成运放构成的音频放大器。 $A_1$ 是运算放大器， $U_i$ 是输入信号， $U_o$ 是输出信号， $C_2$ 是交流负反馈电路中的隔直通交电容， $R_1$ 是交流负反馈电阻。

音频输入信号 $U_i$ 经过耦合电容 $C_1$ 从 $A_1$ 同相输入端加到内电路中，放大后信号从输出端输出，经耦合电容 $C_3$ 加到后级电路中。

$C_2$ 和 $R_1$ 构成运算放大器的交流负反馈电路，其直流负反馈设在 $A_1$ 的内部电路中。

电容 $C_2$ 具有隔直通交作用，将直流电流隔离，不让直流电流流过电阻 $R_1$ ，这样 $R_1$ 只存在交流负反馈作用。电阻 $R_1$ 的阻值越大，其交流负反馈量越大，整个放大器的放大倍数越小，反之则大。

### ★13.5.7 由集成运算放大器构成的恒压源电路

利用集成运放可以构成恒压源电路。如图13-43所示是用运算放大器构成的恒压源电路，这一电路的输出电压具有恒压特性。

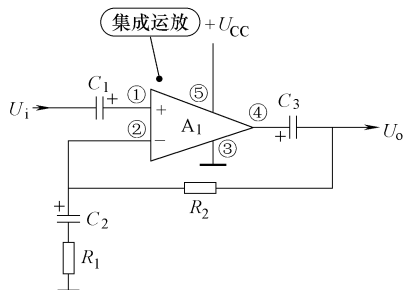


图 13-42 集成运放构成的音频放大器

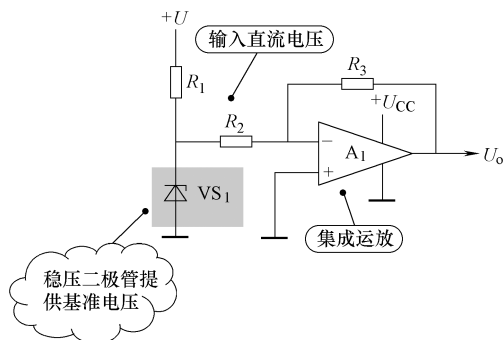


图 13-43 恒压源电路

电路中的  $R_1$  是稳压二极管  $VS_1$  的限流保护电阻, 给  $VS_1$  所需要的导通电压。 $R_2$  和  $R_3$  构成运算放大器负反馈电路,  $R_2$  和  $R_3$  是负反馈电阻, 此时这一放大器闭环增益为  $R_3/R_2$ 。

运算放大器  $A_1$  的同相输入端接地, 运算放大器处于单端运用状态。

$VD_1$  导通后其管压降  $U_Z$  基本不变, 这样输入  $A_1$  反相输入端电压为  $U_Z$ , 这是稳定的直流电压。

根据运算放大器闭环增益公式可以计算出输出电压  $U_o$ :

$$U_o = \frac{R_3}{R_2} \times U_Z$$

由于  $U_Z$  稳定不变, 电阻  $R_2$  和  $R_3$  稳定不变, 这样输出  $U_o$  稳定不变, 说明  $A_1$  具有恒压输出特性。



#### 重要提示

如果将电阻  $R_3$  换成可变电阻器, 改变可变电阻器的阻值大小, 可以改变输出电压  $U_o$  的大小, 这样可以做成一个可调的恒压源电路。

### ★13.5.8 由集成运算放大器构成的电压比较器

集成运放的一个重要应用是构成电压比较器。所谓电压比较器是一种将两个电压进行大小比较的电路。

#### 1. 电压比较器工作特点

电压比较器的工作特点是: 集成运放的一个输入端加有稳压直流电压, 另一个输入端加有大小变化的直流电压, 通过两输入端电压的大小比较, 输出一个直流电压。

#### 2. 电压比较器

如图 13-44 所示是集成运放构成的电压比较器。电路中的  $R_4$  和  $R_1$  为负反馈电阻, 这两个电阻的阻值决定这一运算放大器的闭环增益, 其闭环增益为  $R_4/R_1$ , 当电阻  $R_1$  的阻值不变时, 改变  $R_4$  可以改变这一运算放大器的闭环增益。

电路设计时, 使  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ , 通过数学解析电路的输出电压  $U_o$  由下式决定:

$$U_o = U_{i1} - U_{i2}$$

式中,  $U_o$  为运算放大器的输出电压;  $U_{i1}$  为同相输入端信号电压;  $U_{i2}$  为反相输入端信号电压。

这一电路能够实现两个输入信号  $U_{i1}$  和  $U_{i2}$  的减法运算。有下列 3 种比较结果:

- 1) 当  $U_{i1} = U_{i2}$  时,  $U_o = 0V$ 。
- 2) 当  $U_{i1} > U_{i2}$  时,  $U_o$  大于  $0V$ , 输出正电压。
- 3) 当  $U_{i1} < U_{i2}$  时,  $U_o$  小于  $0V$ , 输出负电压。

#### 3. 实用电压比较器

音响设备中大量使用的多级 LED 电平指示器中常用集成运放构成电压比较器, 使各级 LED 分挡 (级) 指示电平大小, 如图 13-45 所示是集成运放构成的电压比较器。

集成电路  $A_1 \sim A_3$  是 3 个运算放大器构成的电压比较器,  $R_1 \sim R_4$  构成三个分压电路的分压比不同, 给  $A_1 \sim A_3$  各比较器的基准电压大小不等, 其中  $A_1$  的基准电压最小,  $A_3$  的基准电压最大, 正电压 ( $+U_Z$ ) 是一个恒压源, 作为  $A_1 \sim A_3$  各同相输入端的基准电压  $U_1 \sim U_3$ 。 $VL_1 \sim VL_3$  三只 LED 构成三级电平指示器。

$U_i$  是音频信号经过整流后的直流电压, 它的大小代表音频信号的大小, 音频信号幅度大, 这一直流电压就大。

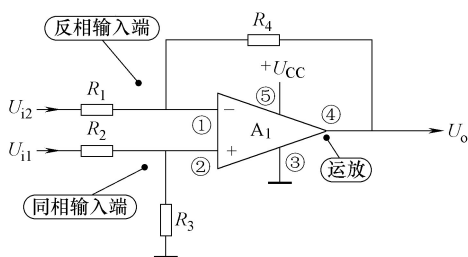


图 13-44 集成运算放大器构成的电压比较器

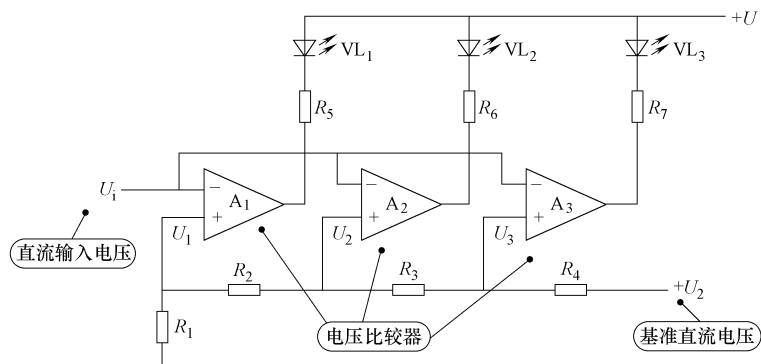


图 13-45 电压比较器

根据输入电压大小进行分别分析：

(1) 输入电压  $U_i = 0$ 。A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> 和 A<sub>3</sub> 反相输入端的输入电压均为 0V，而同相输入端有基准电压输入，此时 A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> 和 A<sub>3</sub> 同相输入端输入电压大于反相输入端上的输入电压  $U_i$ ，所以 A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> 和 A<sub>3</sub> 输出高电平，使 VL<sub>1</sub>、VL<sub>2</sub> 和 VL<sub>3</sub> 不能发光指示。

(2) 输入电压  $U_i$  大于  $U_1$  而小于  $U_2$ 。A<sub>1</sub> 的反相输入端电压大于同相输入端上的基准电压，A<sub>1</sub> 输出低电平，使 VL<sub>1</sub> 导通发光。

由于 A<sub>2</sub> 和 A<sub>3</sub> 的同相输入端基准电压  $U_2$ 、 $U_3$  大于输入电压  $U_i$ ，所以 A<sub>2</sub> 和 A<sub>3</sub> 仍然输出高电压，发光二极管 VL<sub>2</sub> 和 VL<sub>3</sub> 仍然不能发光指示。

(3) 输入电压  $U_i$  进一步增大，达到  $U_2 < U_i < U_3$ 。A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> 的反相输入端电压大于同相输入端电压，此时 A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> 输出低电平，使 VL<sub>1</sub> 和 VL<sub>2</sub> 导通发光。同理， $U_i$  进一步增大后，发光二极管 VL<sub>3</sub> 也导通发光。

在电平指示器中，利用设置不同大小的基准电压来实现各级 LED 的分级指示。

### ★13.5.9 由集成运算放大器构成的 +1 放大器

如图 13-46 所示是集成运放构成的 +1 放大器。这种放大器的特点是运算放大器输出端与反相输入端直接相连，全部输出信号从反相输入端加到 A<sub>1</sub> 中，称为全负反馈电路，放大器放大倍数为 1，即没有放大能力。

同相输入端与输出端的信号相位相同，所以称为 +1 放大器。这种电路主要用于模拟电感电路。

如图 13-47 所示是音调控制器中的应用电路。电路中的 RP<sub>1</sub> 是音调电位器，A<sub>1</sub> 是运算放大器，构成 +1 放大器。

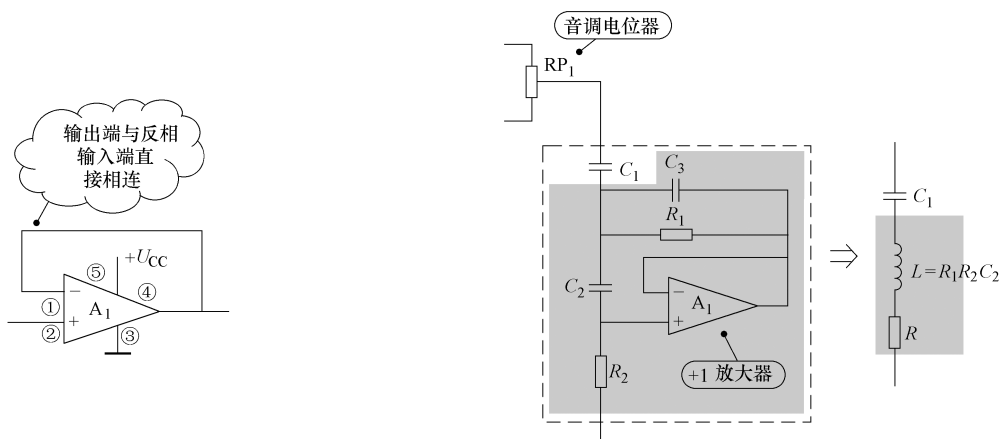


图 13-46 集成运放构成的 +1 放大器

图 13-47 音调控制器中的应用电路

在  $RP_1$  动片与地之间接陷波器，虚线框内等效成一个串联谐振电路，谐振频率为  $f_0$ ，谐振电路由 +1 放大器和阻容元器件构成。

电路中除  $C_1$  外等效成一个电感，其模拟电感  $L = R_1 R_2 C_2$ ，改变阻容元器件参数可以改变模拟电感  $L$  的大小，从而可以改变陷波器的频率  $f_0$ 。实用电路中往往改变  $C_1$ 、 $C_2$  的大小。

$RP_1$  动片与地之间的陷波器将频率为  $f_0$  信号从  $RP_1$  动片直接通到地端，从而实现对这一频率信号的音调控制。



## 模拟课堂



胡老师：

请这位女同学说下，一个电子电路至少有哪些元器件组成？



学生女：

一个电子电路至少有电源、负载、控制元器件和导线 4 样组成。



胡老师：

请进一步说明这 4 个元器件在电路中所起的具体作用？



学生女：

电源用来为电路提供电能。负载则是整个电路所需要服务的对象。控制元器件用来控制电源的通与断，这样可以控制整个电路是否进入工作。导线则是用来连接各个元器件的。



胡老师：

每个元器件都有它特定的特性，了解和掌握这些元器件的特性是分析电路工作原理的基础，是电路分析的必备知识。对于初学者而言，电路分析中有困难，绝大多数情况是对元器件的特性不了解，或了解不全面造成的，这也是初学者最难做到的一点。



学生女：

我认为手电筒电路中，如果让手电筒更加亮些可以换个功率大些的小电珠。



学生男：

我想是可以的，但是要考虑到更换上的小电珠工作电压与原来的相同。另外，因为小电珠功率大了，耗电大，同样电池的情况下使用时间短了。



学生女：

那么，我想让音乐门铃的声音更响一些，是不是也可以更换一个功率大些的扬声器呢？



学生男：





这个，应该是同样的道理吧，老师，您说呢？



胡老师：

如果需要音乐门铃声音更响，只换扬声器是不行的，因为功率大的扬声器需要更大功率的信号来激励，所以这时还要加放大器，将音乐信号进行功率放大，再去驱动功率更大的扬声器。



胡老师：

下面提问几个问题。如果电路中有三只或更多的电阻器相串联，流过各电阻器的电流都相等吗？它们与串联电路中的总电流之间是什么关系？



学生男：

流过串联电路中每只电阻的电流是相等的，而且等于这一串联电路的总电流。



胡老师：

很好，另一个问题是，两只 10k 电阻串联后阻值增大了还是减小了，具体是多大？两只 10k 电阻并联后阻值增大了还是减小了，具体是多大？



学生男：

两只 10k 电阻串联后阻值增大，为 20k。两只 10k 电阻并联后阻值减小，为 5k。



胡老师：

对，同学们讨论下这样一个问题，有一个三只电阻器构成的串并联电路，即  $R_1$  和  $R_2$  并联后与  $R_3$  串联。请问哪只电阻开路时整个电路无电流？测量发现，整个串并联电路的电流减小了，请问可能是哪几只电阻开路了？



学生女：

$R_3$  开路后整个串并电路中无电流，因为  $R_3$  是串联在这个电路中的。



学生男：

对， $R_1$  和  $R_2$  中的任何一只开路都有另一只电阻构成回路，所以电路中都会有电流，只有  $R_3$  开路后电路中才无电流。



学生女：

电路中的电流减小，说明整个串并联电路的总阻值在增大，那么可能是  $R_1$  开路，或是  $R_2$  开路，不可能是  $R_3$  开路。



胡老师：

回答得很好，能够这样回答说明已经深入掌握了电阻串联电路、电阻并联电路和电阻串并联电路。



胡老师：

下面请大家讲讲电阻电路的感受，哪位同学先来？



学生男：

感觉电阻器在电子电路中的应用相当丰富，主要是运用了电阻串联电路、并联电路和分压电路的基本原理。



学生女：

请请老师再简单地讲解下，隔离电阻电路的工作原理。



胡老师：

电路中的某点 A 本来是用导线连用的，这时电路 A 点的前级电路和后级电路是直接相连的。在断开电路 A 点后串联隔离电阻  $R_i$ ，这时电路中 A 点的前级电路和后级电路之间不再是连通的，而是有一个电阻  $R_i$  在隔离着，这样电路中 A 点前级电路和后级电路之间被隔离了，前级电路和后级电路之间的相互影响在减小。隔离电阻  $R_i$  阻值越大，这种隔离的效果越好，反之则差，能明白吗？



学生女：

明白了，隔离电阻的作用是为了降低电路中 A 点前级电路和后级电路之间的相互影响。



胡老师：

对。电路之间的相互影响有时是非常有害的，进行隔离是必须的。



学生男：

老师，能再简单地说明下直流降压电阻电路的工作原理吗？



胡老师：

好，众所周知，电流流过电阻时要产生电压降，这样，使得电阻两端的电压不等，一端高一端低，这样电阻就能降低电路中某点的电压。



学生女：

老师，我明白了音响、电视机等中声音大小调节的原理，原来就是用一只电位器构成分压电压，这就是音量控制电路，很有意思。



学生男：

音量控制器就是控制输入功率放大器的信号的大小，这样就可以控制流入扬声器中的电流的大小，达到音量控制的目的。



胡老师：

说得很对。分压电路的一个典型应用就是音量控制器电路。



胡老师：

大家讨论下电容、电阻串联和并联电路，讲讲学习后的感受和体会。



学生女：

我的对电容并联容量增大的理解是这样：电容器是存储电荷的元件，水缸是储水的，多只水缸并排放置可以存放更多的水，电容器并联后就能存储更多的电荷，所以电容器并联后并联电路的总容量会增大。



学生男：

两只有极性电容器并联时，应该是两只有极性电解电容器的正极与正极相连，负极与负极相连，不能一只电容器的正极与另一只电容器的负极相连，否则在电路中会有一只电容器因极性接反而爆炸。



学生女：

这么可怕呀。



胡老师：

是的，有极性电解电容的极性不能接反，否则会爆炸。



学生女：

电容器串联后总容量减小，而电阻器串联后总阻值增大。电容器并联后总容量增大，而电阻器并联后总阻值减小。电阻器和电容器正好相反。



学生男：

是的，我就是记住电阻器的串联和并联特性后，将电容器反过来。



胡老师：

对，学习过程中要善于总结，这利于轻松学习和记忆。  
哪位同学讲讲阻容电路的理解和体会？



学生女：

在同一工作频率的电路中，后级电路输入电阻高时，耦合电容容量可以取得小些。多级放大器电路中，前级电路的耦合电容容量可以适当取得小些，以减小耦合电容漏电带来的噪声。



胡老师：

很好。下面讨论一个比较复杂的问题，是关于发射极旁路电容电路的。

对于这种多个发射极电阻串联的电路，分析哪只电阻起直流还是交流负反馈作用，关键是看什么？



学生男：

关键是看流过该电阻的电流，如果接有旁路电容，这时只有直流电流流过该电阻，就存在直流负反馈作用。如果除直流电流外还有交流电流流过该电阻，则该电阻有交流和直流的双重负反馈作用。



胡老师：

很好。下面讨论下  $RC$  电路。



学生男：

电阻器和电容器都有串联电路和并联电路，但是由于电容器特性电阻器特性不同，所以它们的串联电路和并联电路也有许多不同之处。例如，电容串联电路不能让直流电通过，而电阻串联电路能够让直流电通过。



学生女：

在分析电阻电路时可以不考虑信号的频率高低，但是在分析电容电路时就得考虑频率的因素，因为不同频率下的电容器容抗是不同的。



学生男：

有极性电解电容器有正负极之分，电阻器则没有正负极之分，所以在焊接有极性电解电容器时要特别注意。



胡老师：

这里提示一点：在分析晶体管电路工作原理时，部分初学者会进入一个误区，就是什么分析都进行电流回路分析，例如分析晶体管放大器信号传输过程时，也要分析晶体管的输入电流回路和输出电流回路，这种分析方法是错误的。



学生女：

晶体管不只用来放大信号，它还可以用来构成振荡器，当然在振荡器中的晶体管也是工作在放大状态的。



学生男：

利用晶体管集电极与发射极之间内阻可控特性可以构成晶体管开关电路。晶体管的集电极相当于开关的一个引脚，它的发射极相当于开关的另一根引脚。当晶体管截止时，晶体管集电极与发射极之间内阻很大，这时相当于开关断开。当晶体管饱和时，晶体管集电极与发射极之间内阻很小，这时相当于开关接通。



学生男：

晶体管偏置电路很丰富，是不是就是讲过的这几种电路了。



胡老师：

是的，基本上就是这几种，如果前面讲过的偏置电路都能理解和记住，那应该能算是过关了。



学生女：

晶体管集电极和发射极直流电路也是很丰富的，变化也很多，课后还要仔细地看看。



胡老师：

是的，晶体管集电极和发射极直流电路是相当丰富，但是没有难度，看几遍书后是能掌握的。



学生男：

我们习惯于分析正极性电源供电的电路，对于负极性电源供电的直流电流回路分析有什么技巧吗？



胡老师：

需要分析直流电流回路时，可以从地线出发，一直分析到负极性直流电源的  $-U$  端，因为电路中的地线电压为最高。



学生女：

三种放大器中，共发射极放大器应用最为广泛，在各种频率的放大系统中都有应用，是信号放大的首选电路。



学生男：

共集电极放大器由于它的输入阻抗小、输出阻抗大这一特点，主要用于放大系统中的隔离作用，例如用于一些多级放大系统中的输入级、输出级和缓冲级，使共集电极放大器的前级电路与后级电路之间相互影响减至最小。



学生女：

共基极放大器由于它的高频特性优良，所以它主要用于工作频率比较高的高频电路中，例如用于视频电路中，在一般音频放大系统电路中不用。

阅读完成时间：\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日，用时\_\_\_\_\_天。

签 名：\_\_\_\_\_

阅读体会：（请写 10 个收获最大的知识点关键词）

阅读困惑：（请写 10 个最难理解的知识点关键词）

## 数字电路基础

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日  
本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！

### 14.1 数字电路与数字集成电路基础知识

本节阅读建议：快速阅读，全面掌握数字电路与数字集成电路基础知识。

本节难度系数：5级。

本节记忆系数：6级。

数字产品处处可见，我们已进入了数字时代一点不夸张，列举几例熟悉数字产品，走进数字电路。

如图 14-1 所示是日常生活中常见的数字式产品。



图 14-1 数字式产品

#### 重要提示

数字电路图与模拟电路在基本电路方面是相同的，所以对数字电路的识图基本方法与模拟电路也是相同的。

但是，根据学习电子电路的经验发现，模拟电路学得很好的人，学习数字电路则不一定就很好，这种现象相当普遍，这里就揭示了一个问题，就是尽管数字电路和模拟电路在电路基本原理方面相同，但具体的电路工作原理和电路分析方法是不同的，有时甚至不能用分析模拟电路的方法去分析数字电路。

#### ★14.1.1 数字电路

电信号通常可以分成模拟信号和数字信号两类，由于数字技术的发明和发展为模拟信号的复杂处理开拓了广阔的空间和简便处理手段。





1. 数字信号说明

数字信号是一个离散量，具体地讲数字信号的电压或电流在时间和数值上都是离散的，不连续的。



举例说明

这里举一个修理中常见的例子来说明数字信号，普通指针式万用表在指示电阻值时，通过指针的摆动和表面的刻度来指示电阻值，可数字式万用表则通过数字来指示电阻值。例如，某一只数字式万用表只能够显示三位数字，它显示某电阻值为  $7.55\text{k}\Omega$ ，比这一阻值再大一点的显示是  $7.56\text{k}\Omega$ ，但是该表无法显示  $7.555\text{k}\Omega$ ，它只能以每隔  $0.01\text{k}\Omega$  来分档显示，说明它的指示阻值不连续，这种不能连续变化的显示信号称为数字信号。

数字信号的幅值变化只有两种：一为零，或小；二是为有，或大。  
数字信号的幅值只在有或无（大或小）两种幅度之间变化，这就是数字信号幅值的不连续特性，也是数字信号的一个重要特点。

2. 数字信号波形示意图

如图 14-2 所示是数字信号波形示意图，从时间轴放大后的数字信号电压或电流波形示意图可看出，它是一个矩形脉冲。

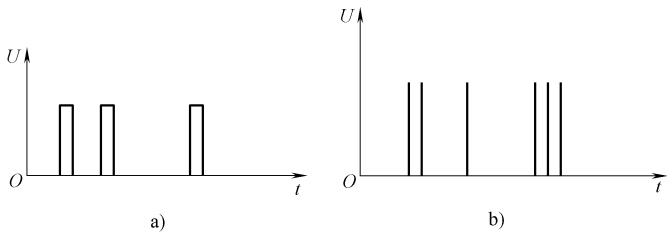


图 14-2 数字信号波形示意图

谈到矩形脉冲想起了脉冲电路，所谓脉冲信号是指在短时间内信号电压或电流突然变化的信号，脉冲电路就是产生或变换脉冲波形的电路。从广义角度上讲数字电路也是一种脉冲电路，如果当数字信号幅值在“有”和“无”两种状态间快速转换时，电路将输出一系列矩形脉冲波。



重要提示

脉冲电路和数字电路两者之间主要区别是：脉冲电路主要用于产生和变换脉冲波形，数字电路则将脉冲波形中有、无（或高、低）这两种状态分别代表二进制数中的“0”和“1”。

脉冲信号的波形有许多，如图 14-3 所示是几种脉冲信号波形示意图。

3. 初识数字电路

所谓数字电路就是用于处理数字信号的电路。

数字电路与模拟电路相比有很大的不同，数字电路主要是对数字信号进行逻辑运算和数字处理，这些运算和处理有时相当复杂的，但是主要通过软件来处理（进行各种逻辑处理和数字运算），这一点就决定了对数字电路的识图不同于模拟电路的识图。

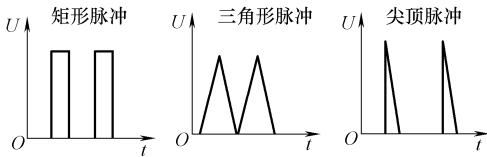


图 14-3 几种脉冲信号波形示意图



重要提示

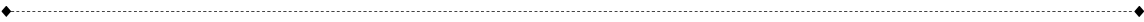
数字电路本身的工作状态非常简单，数字电路工作时通常只有两种状态：高电平（或称为高



电位) 状态或低电平 (或称为低电位) 状态。

在正逻辑定义中: 通常把高电平用代码 “1” 表示, 称为逻辑 “1”; 低电平用代码 “0” 表示, 称为逻辑 “0”。还可以用字母 “H” 代替 “1”, 字母 “L” 代表 “0”。

不同的数字电路中对高、低电平的要求是不同的。例如, 一些 TTL 数字电路的输出电压等于或者大于 3V 均可认为是逻辑 “1”, 等于或小于 0.2V, 均可认为是逻辑 “0”; CMOS 数字电路的逻辑 “0” 或 “1” 的值与工作电压有关。如表 1-3 所示是数字电路工作特征说明。



4. 数字电路工作特征说明

1) 晶体管工作在开关状态。数字电路中只处理二进制中的 “0” 和 “1” 两种信号, “0” 表示信号无, “1” 表示信号有。从电路硬件这一角度上讲, 电子电路中的元器件特别是晶体管只工作在有信号和无信号两种状态, 也就是数字电路中的晶体管多半工作在开关状态, 不像模拟电路中的晶体管工作在放大状态。

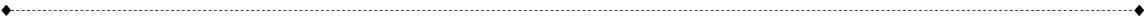
2) 晶体管饱和截止含义。数字电路中, 用晶体管的饱和状态与截止状态分别对应于数字信号中的 “0” 和 “1”, 可用晶体管截止时输出的高电平表示数字信号的 “1” 状态, 而用晶体管饱和导通输出的低电平表示数字信号中的 “0” 状态。晶体管的这一工作状态与模拟电路完全不同, 进行数字电路识图时电路分析方法就不能与模拟电路中晶体管放大状态的分析方法相同。

3) 数字电路多为集成电路。由于数字信号只有 “1” 和 “0” 两种, 那么对数字电路的工作要求就是能够可靠地区别信号为 “0” 和信号为 “1” 两种状态, 因此对数字电路的精度要求不高, 这适合于对数字电路进行集成化, 加上对数字信号的处理和运算都是相当复杂的过程, 所以数字电路中都是采用集成电路, 且许多是大规模集成电路, 这一点又使数字电路工作的分析增加了一份神秘的色彩。



重要提示

数字电路是实现逻辑功能和进行各种数字运算的电路。数字信号在时间和数值上是不连续的, 所以它在电路中只表现为信号的有、无 (或信号的高、低电平) 两种状态。数字电路中用二进制数 “0” 和 “1” 来代表低电平和高电平两种状态, 数字信号便可用 “0” 和 “1” 组成的代码序列来表示。因此, 学习数字电路首先要了解有关二进制数知识, 否则对数字电路的工作原理理解和分析将寸步难行。



★14.1.2 数字化优点

将时间上连续变化的量变换为脉冲有无的操作过程就叫作数字化, 通俗地讲数字化就是将模拟信号变换成数字信号。

1. 模拟系统缺点

无论是数字音响还是数字视频, 信号都存在着记录、编辑、传送和重放等过程, 在信号的上述处理过程中, 由于模拟系统自身的缺点, 会使模拟信号受到各种破坏, 如表 14-1 所示模拟系统缺点。

表 14-1 模拟系统缺点

| 名称         | 说 明                                                                                                                         |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 换能器存在非线性失真 | 记录过程中的换能器 (如磁性记录中的录音磁头、放音磁头) 如果存在非线性, 这会使记录在媒体上的原信号出现非线性失真, 而且这种失真还无法通过电路来解决                                                |
| 杂音和干扰影响    | 模拟信号在记录、编辑、传送和重放过程中, 不可避免地会混进杂音、各种干扰成分, 而且这些有害的成分就不能与有用信号分开, 损害了原信号                                                         |
| 记录媒体信噪比影响  | 信号存储过程中, 例如磁带录音过程, 记录媒体 (如磁带) 的信噪比代替了原信号的信噪比, 也就是不管原信号的动态范围有多大, 一旦记录以后再还原信号的动态范围再也超过记录媒体本身的动态范围, 这就使得在模拟系统中对记录媒体材料的有关性能要求很高 |

(续)

| 名称     | 说 明                                                                     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------|
| 机械系统影响 | 重放过程中的机械系统要求也很高,如旋转系统、驱动系统等机构的工作如不稳定,就会使原信号产生抖晃失真,例如磁性记录系统中的抖晃失真是一个常见问题 |

2. 数字系统优点

模拟信号的数字化可以解决模拟系统中的诸多问题,同时还可带来其他好处,如表 14-2 所示是数字系统的优点。

表 14-2 数字系统优点

| 名称         | 说 明                                                                                                                                                                                                             |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 数字电路抗干扰能力强 | 数字系统中只有“0”和“1”两种电平状态的信号,在记录和重放过程中只要保持“0”、“1”信号之间足够的电平差,数字电路就能方便地将它们识别和分离<br>换句话说,当一群代表低电平的“0”信号电平即使其幅度大小有所不同时,对于代表高电平的一群“1”信号电平存在参差不齐情况时,只要“0”、“1”信号之间的电平差足够的大,数字电路通过限幅电路等处理都可以正确地分辨出“0”和“1”信号,这就说明数字电路的抗干扰能力很强 |
| 与记录媒体相关性小  | 由于信号的记录形式是二进制数码,数字电路的任务只是判断出“0”和“1”两种信号,与记录媒体的信噪比和重放信号的信噪比没有直接关系,这样与模拟记录系统相比对记录媒体的要求可以宽松得多,即数字系统可以用廉价的材料作为记录媒体                                                                                                  |
| 具有高性能指标特点  | 数字系统中,如果采样频率、量化位数确定了,电路的性能极限也就确定了,而且不容易被改变,说明数字记录系统性能的重现性很可靠,但是模拟记录系统中,由于许多不稳定因素的存在,其重现性能不稳定、不可靠。所以,数字系统的技术性能指标要比模拟系统的技术性能指标要高出许多                                                                               |
| 编码的优势      | 由于数字系统中的数字信号要进行各种形式的编码处理,因为编码后的信号和信号在处理过程中由于电路本身或外界混进来的干扰信号性质的不同,二者可以方便地分离,因而可以轻松地去除干扰信号,而不致损害信号数码                                                                                                              |
| 机械系统要求低    | 一些数字记录系统中,由于重放系统设有基校正电路,其机械旋转系统、驱动系统的不稳定现象不会引起抖晃失真的问题,因而不必要求有像模拟记录系统中那样的精密机械系统,这使机械系统的加工精度要求降低,从而降低了生产成本                                                                                                        |
| 换能器线性要求低   | 数字系统中的数字信号“0”、“1”只有低电平和高电平两种变化,所以不必要求记录和重放系统中的换能器具有良好的线性                                                                                                                                                        |
| 电路结构简单     | 数字信号适合于计算机进行处理和运算,使得对数字信号的各种编码、解码处理变成了软件的操作,大大方便了对电信号的各种处理,使得数字式家用电器具有更强的功能。同时,在实现同样功能时,数字电路结构远远没有模拟电路那么复杂                                                                                                      |

★14.1.3 熟悉常见 TTL 和高速 CMOS 集成电路

集成数字电路分 TTL 和 CMOS 两种类型。



重要提示

TTL 集成电路以速度见长,CMOS 集成电路以功耗低而著称。CMOS 集成电路以其功耗低、工作电压范围宽、扇出能力强等优良的特性成为目前应用最广泛的数字集成电路。

TTL 是 Transistor—transistor—logic 的缩写,意为晶体管—晶体管—逻辑电路。

CMOS 是 Complementary Metal—Oxide—Semiconductor 的缩写,意思是互补金属—氧化物—半导体场效应晶体管。

1. TTL 集成电路

TTL 集成电路有 6 类,如表 14-3 所示。

表 14-3 6 类 TTL 集成电路

| 标准型       | 低功耗肖特基      | 肖特基        | 先进低功耗肖特基     | 先进肖特基       | 快速         |
|-----------|-------------|------------|--------------|-------------|------------|
| 54/74 × × | 54/74LS × × | 54/74S × × | 54/74ALS × × | 54/74AS × × | 54/74F × × |

例如，54/74162、54/74ALS162B、54/74LS162 为十进制同步计数器。  
如图 14-4 所示是 TTL 集成电路的电源和接地引脚表示方法示意图。电源引脚用  $V_{cc}$  表示，接地引脚用 Gnd 表示。

2. 高速 CMOS 集成电路

高速 CMOS 集成电路主要有 54/74HC × ×、54/74HCT × ×、54/74AHC × ×、54/74AHCT × ×、54/74HCU × × 系列，例如 74HC137/74HCT137 为 3 线—8 线译码器集成电路（带锁定功能，反码输出）。

如图 14-5 所示是高速 CMOS 集成电路的电源和接地引脚表示方法示意图。

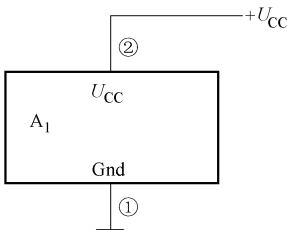


图 14-4 TTL 集成电路的电源和接地引脚表示方法示意图

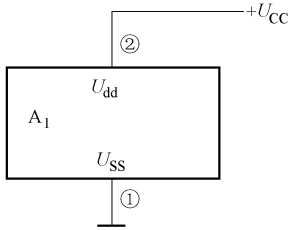


图 14-5 高速 CMOS 集成电路的电源和接地引脚表示方法示意图

如表 14-4 所示是 TTL 和 CMOS 数字集成电路电源引脚和接地引脚标记说明。这两类集成电路的电源引脚和接地引脚标记不同，根据这一标记的不同可以在电路图中区别是 TTL 还是 COMS 数字集成电路。但是，也有的电路图中对 TTL 和 CMOS 集成电路都采用  $U_{cc}$  表示电源引脚 Gnd，表示接地引脚。

表 14-4 TTL 和 CMOS 数字集成电路电源引脚和接地引脚标记

| 集成电路类型    | 接地引脚标记   | 电源引脚标记   |
|-----------|----------|----------|
| TTL 集成电路  | Gnd      | $U_{cc}$ |
| CMOS 集成电路 | $U_{ss}$ | $V_{dd}$ |

★14.1.4 了解 CMOS 集成电路

1. CMOS 系列集成电路的性能及特点

如表 14-5 所示是 CMOS 系列集成电路的性能及特点说明。

表 14-5 CMOS 系列集成电路的性能及特点说明

| 名称      | 说 明                                                                                                                                              |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 低功耗     | CMOS 集成电路采用场效应晶体管,而且都是互补结构,工作时两个串联的场效应晶体管总是处于一个管导通,另一个管截止的状态,电路静态功耗理论上为零。但是,因为存在漏电流,CMOS 电路尚有微量静态功耗。单个门电路的功耗典型值仅为 20mW,动态功耗(在 1MHz 工作频率时)也仅为几 mW |
| 工作电压范围宽 | CMOS 集成电路供电简单,供电电源体积小,基本上不需稳压。国产 CC4000 系列的集成电路可在 3 ~ 18V 电压下正常工作                                                                                |

(续)

| 名称     | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 逻辑摆幅大  | CMOS 集成电路的逻辑高电平“1”、逻辑低电平“0”分别接近于电源高电位 $U_{dd}$ 及电源低电位 $U_{ss}$ 。当 $U_{dd} = 15V, U_{ss} = 0V$ 时,输出逻辑摆幅近似 15V。因此,CMOS 集成电路的电压利用系数在各类集成电路中指标是较高的                                                                                                     |
| 输入阻抗高  | <p>CMOS 集成电路的输入端一般都是由保护二极管和串联电阻构成的保护电路,如图 14-6 所示是 CMOS 集成电路的输入端保护电路,所以比一般场效应晶体管的输入电阻稍小,但是在正常工作电压范围内,这些保护二极管均处于反向偏置状态,通常情况下等效输入阻抗高达 <math>10^3 \sim 10^{11}\Omega</math>,因此 CMOS 集成电路几乎不消耗驱动电路的功率。</p> <div></div> <p>图 14-6 CMOS 集成电路的输入端保护电路</p> |
| 扇出能力强  | 扇出能力是用电路输出端所能带动的输入端数来表示的。由于 CMOS 集成电路的输入阻抗极高,因此电路的输出能力受输入电容的限制,但是,当 CMOS 集成电路用来驱动同类型,如不考虑速度,一般可以驱动 50 个以上的输入端                                                                                                                                      |
| 接口方便   | 因为 CMOS 集成电路的输入阻抗高和输出摆幅大,所以易于被其他电路所驱动,也容易驱动其他类型的电路或器件                                                                                                                                                                                              |
| 抗辐射能力强 | CMOS 集成电路中的基本器件是 MOS 晶体管,属于多数载流子导电器件。各种射线、辐射对其导电性能的影响都有限                                                                                                                                                                                           |
| 抗干扰能力强 | CMOS 集成电路的电压噪声容限的典型值为电源电压的 45%,保证值为电源电压的 30%。随着电源电压的增加,噪声容限电压的绝对值将成比例增加。对于 $U_{dd} = 15V$ 的供电电压(当 $U_{ss} = 0V$ 时),电路将有 7V 左右的噪声容限                                                                                                                 |
| 温度稳定性好 | 由于 CMOS 集成电路的功耗很低,内部发热量少,而且,CMOS 电路线路结构和电气参数都具有对称性,在温度环境发生变化时,某些参数能起到自动补偿作用,因而 CMOS 集成电路的温度特性非常好。一般陶瓷金属封装的电路,工作温度为 $-55 \sim +125^{\circ}C$ ;塑料封装的电路工作温度范围为 $-45 \sim +85^{\circ}C$                                                                |
| 可控性好   | CMOS 集成电路输出波形的上升和下降时间可以控制,其输出的上升和下降时间的典型值为电路传输延迟时间的 125% ~ 140%                                                                                                                                                                                    |

2. CMOS 系列集成电路使用注意事项

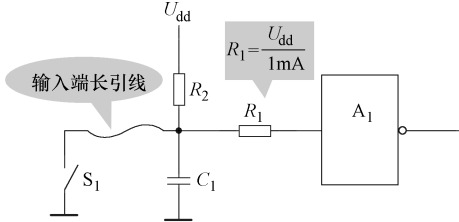
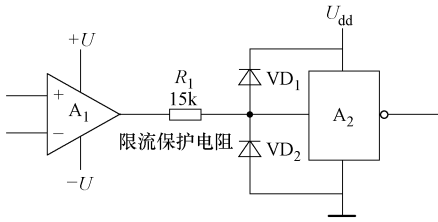
如表 14-6 所示是 CMOS 系列集成电路使用注意事项。

表 14-6 CMOS 系列集成电路使用注意事项

| 名称     | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 电源注意事项 | <p>(1)CMOS 集成电路的工作电压一般在 3 ~ 18V,但是应用电路中有门电路的模拟应用(例如脉冲振荡、线性放大)时,最低电压则不应低于 4.5V。由于 CMOS 集成电路工作电压宽,故使用不稳压的电源电路 CMOS 集成电路也可以正常工作,但是工作在不同电源电压的器件,其输出阻抗、工作速度和功耗是不相同的,在使用中一定要注意</p> <p>(2)CMOS 集成电路的电源电压必须在规定范围内,不能超压,也不能反接。因为在制造过程中,自然形成许多寄生二极管,在正常电压下这些二极管均处于反向偏置状态,对逻辑功能无影响,但是这些寄生二极管的存在,一旦电源电压过高或电压极性接反,就会使电路产生损坏</p> |



(续)

| 名称              | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 多余输入端的处理方法      | CMOS 电路的输入端不允许悬空,因为悬空会使电位不定,破坏正常的逻辑关系。悬空时输入阻抗高,易受外界噪声干扰,使电路产生误动作,而且也极易造成栅极感应静电而击穿。所以“与”门和“与非”门的多余输入端要接高电平,“或”门和“或非”门的多余输入端要接低电平。如果电路的工作速度不高,功耗也不需特别考虑时,则可以将多余输入端与使用端并联                                                                                                                                                                                            |
| 输入端接长导线时保护电路    | <p>应用中有时输入端需要接长的导线,而长输入线必然有较大的分布电容和分布电感,易形成 LC 振荡,特别当输入端一旦发生负电压,极易破坏 CMOS 中的保护二极管。如图 14-7 所示是接入的输入端接长导线时保护电路,在输入端串联一只保护电阻 <math>R_1</math>,其取值大小为 <math>V_{dd}/1\text{mA}</math></p>  <p>图 14-7 输入端接长导线时保护电路</p>                                                                |
| 输入信号注意事项        | 输入信号不可大于 $U_{dd}$ 或小于 $U_{ss}$ ,否则输入保护二极管会因正向偏置而引起大电流。基于这一点,在工作或测试时,必须按照先接通电源后加入信号,先撤除信号后再关闭电源顺序进行操作                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 输入端静电防护措施       | 虽然各种 CMOS 输入端有抗静电的保护措施,但仍需小心对待,在存储和运输中最好用金属容器或者导电材料包装,不要放在易产生静电高压的化工材料或化纤织物中。组装、调试时,工具、仪表、工作台等均应良好接地。要防止操作人员的静电干扰造成的损坏,如不宜穿尼龙、化纤衣服,手或工具在接触集成块前最好先接一下地。对器件引线矫正弯曲或人工焊接时,使用的设备必须良好接地                                                                                                                                                                                 |
| 驱动能力注意事项        | CMOS 电路驱动能力的提高,除选用驱动能力较强的缓冲器来完成之外,还可将同一个芯片几个同类电路并联起来提高,这时驱动能力提高到 $N$ 倍( $N$ 为并联门的数量)                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 引脚焊接注意事项        | CMOS 电路具有很高的输入阻抗,致使器件易受外界干扰、冲击和静电击穿,虽然在其内部输入端接有二极管保护电路,由于保护电路吸收的瞬变能量有限,太大的瞬变信号和过高的静电电压将使保护电路失去作用。在焊接 CMOS 管时,电烙铁必须可靠接地,以防电烙铁漏电击穿器件输入端。一般可利用电烙铁断电后的余热焊接,并先焊接其接地脚                                                                                                                                                                                                   |
| 电源和接地引脚串联电阻注意事项 | 防止用大电阻串入 $U_{dd}$ 或 $U_{ss}$ ,以免在电路开关期间由于电阻上的压降引起保护二极管瞬时导通而损坏器件                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| CMOS 电路与运放连接    | <p>如果运放采用双电源,CMOS 采用独立的另一组电源,如图 14-8 所示是不同电源时的连接电路,电路中的 <math>VD_1</math> 和 <math>VD_2</math> 为钳位保护二极管,使 CMOS 输入电压处在 <math>10\text{V}</math> 与地之间。<math>15\text{k}\Omega</math> 的电阻既作为 CMOS 的限流电阻,又对二极管进行限流保护。如果运放使用单电源,而且与 CMOS 使用的电源一样,则可直接相连</p>  <p>图 14-8 不同电源时的连接电路</p> |





### ★14.1.5 数字集成电路基本识图方法



#### 重要提示

在分析数字电路之前，需要掌握、熟悉、了解下列有关方面的内容：

- 1) 具备模拟电路的识图能力。
- 2) 二进制、二进制编码和二进制与十进制之间转换关系。
- 3) 脉冲电路和脉冲信号的产生、整形和变换电路，这其中包括微分电路、积分电路、限幅电路、钳位电路、锯齿波形成电路、多谐振荡器电路、单稳态和双稳态电路等。
- 4) 逻辑门电路，具体有与门、或门、非门、与非门、或非门。
- 5) 触发器电路，具体包括 RS 触发器、JK 触发器、D 触发器、T 触发器等。
- 6) 组合逻辑电路，这其中包括基本运算器、比较器、判奇偶电路、编码和译码器、数据选择器，时序电路包括寄存器，计数器、节拍脉冲发生器等。
- 7) 时序逻辑电路，在组合逻辑电路的基础上再加上寄存器就构成了时序逻辑电路。
- 8) 微处理器电路等。
- 9) 模拟量与数字量之间转换原理与基本电路。

在数字式民用电器中，集成电路的应用十分广泛，所以对集成电路应用电路图的识图是进行整机电路图分析中的一个重点。

#### 1. 数字集成电路

数字集成电路按照功能分有许多，这里不对其进行分类，主要说明这种集成电路的一些特点：

- 1) 数字集成电路一般工作在小信号状态下，所以其直流工作电压比较小，一般为 5V。
- 2) 数字集成电路由于工作在小信号状态下，所以它的功耗很小，一般没有散热装置，但也有例外情况。
- 3) 数字集成电路内电路相当复杂，集成电路的引脚也相当多，大规模的集成电路引脚一般都采用四列方式。

#### 2. 识图要点

这里对数字电路的识图基本方法和技巧作几点说明：

- 1) 分析民用电器中的数字电路工作原理，要求有比较系统的数字电路基础知识，否则电路分析是无法比较好地完成，这是因为数字电路所涉及的知识面广，而且与分析模拟电路所需要的知识有很大的不同。
- 2) 数字电路的许多功能是通过软件实现的，即信号（数据）的处理技术已超出一般意义上的电子线路分析范畴，这是数字电路分析中的另一个难点。由于许多处理是通过软件实现的，识图中不需要对软件十分熟悉，但要了解软件处理信号的目的、过程和处理结果。
- 3) 数字式民用电器中常用到微控制器（单片机），所以要对这一部分知识做到比较熟悉。
- 4) 分析数字电路需要更多地掌握整机电路的组成框图和系统电路的组成框图，通过这些框图来了解整机电路的组成和信号处理、传输过程。
- 5) 在分析数字电路工作原理过程中，一个电路中会有许多种信号（这在模拟电路中很少见），并且绝大部分信号采用英文缩写方式表示，这给电路分析也带来一定的困难，特别是对英文不懂时难度更大。
- 6) 在进行数字电路识图过程中，往往会出现这样一种情况，即由于缺少某方面的知识，使电

路识图无法进行下去,如不知道某一信号的英文缩写和这一信号具体功能,使这一部分电路的识图无法进行下去。

7) 数字电路中的信号不再是模拟信号,而是各种脉冲串的数码信号(又称数据流),从这些数据流信号的波形上很难像模拟信号波形那样对电路工作原理的理解有所帮助。

8) 对数字电路的分析要采取化整为零,然后再集零为整的方法,即先对各个电路或各个信号的处理进行独立的分析,然后再将它们集合起来进行整体分析。数字电路中经常会遇到一个信号经过解调之后分离两个及两上以上的信号,此时要先进行一个信号处理分析,直到这一信号的处理终端,然后再去分析另一个信号的处理过程。

9) 数字电路中数据信息的传送与模拟电路中的信号传输有许多不同之处,数字信息的传送有一些相关条件必须满足,并且一根数据线可能是单向传送,也可以是双向传送,这与模拟电路是不同的。

10) 数字式民用电器电路中也有相当一部分是模拟电路,通常整机电路的前面部分是数字电路,由数字电路对信号进行各种处理,最终得到模拟信号。从模拟信号输出电路开始之后的电路就是模拟电路,对这部分电路的分析同一般模拟电路分析方法是相同的。

11) 数字电路都采用大规模集成电路,整机电路中的许许多多单元电路都设置在集成电路的内电路中,在进行具体的电路分析时无法直接对这些单元电路工作原理进行详细分析,只能通过原理图或集成电路内电路框图的形式来完成。

12) 由于整机电路中所采用的集成电路比较多,对整机电路图的分析重点集中在对集成电路外电路元器件作用的分析上,在这一电路分析中了解集成电路功能、内电路组成和引脚作用显得十分重要,这是分析数字集成电路的关键所在。

## ★14.1.6 数字集成电路四根常用引脚外电路

### 1. 数字集成电路输入引脚外电路

数字集成电路的输入引脚回路中,有的设置有隔直电容,有的则没有电容,这要根据具体的数字集成电路情况而定。

一个数字式集成电路有几个输入引脚,这几个输入引脚各输入什么信号要视具体集成电路而定,通常数字集成电路有多个输入引脚,而且这几个输入信号都正常时才能获得一个完整的输入信息。

### 2. 数字集成电路输出引脚外电路

数字集成电路的输出回路中,有的设置有隔直电容,有的则没有电容,这也是根据具体的数字集成电路情况而定。

通常数字集成电路有多个输出引脚。

## ★14.1.7 数字集成电路电源引脚外电路

数字集成电路电源引脚的外电路与模拟集成电路电源引脚的外电路在滤波、退耦电容上的要求不同,数字集成电路要求在电源引脚与接地引脚之间接一只极性的 $0.1\mu\text{F}$ 钽电容,如图14-9所示。这是因为数字集成电路电源直流工作电压的波动会影响内电路逻辑运算的过程和结果,造成逻辑出错。

### 1. 晶体管工作临界点的影响

数字电路的工作与模拟电路的工作不同,当晶体

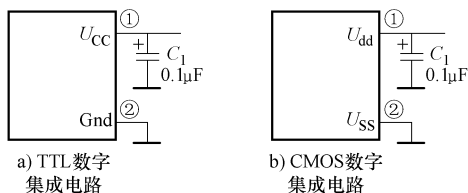


图 14-9 数字集成电路电源引脚电路

管工作在临界点时，会有两种情况致使数字集成电路发生逻辑工作错误。

- 1) 输出无效值。当晶体管工作在临界点时，它会输出一个无效值，或这个错误的位改变了储存在寄存器集成电路上的数据，这时数字集成电路工作出错。
- 2) 锁定。当晶体管工作在临界点时，集成电路可能会进入阻止对输入作出反应的状态，这称为“锁定”。

2. 退耦电容的作用说明

在数字电路电源引脚与接地引脚之间加入退耦电容，这一电容的作用：当数字集成电路需要更大电流时，该电容流出电流给数字集成电路；当数字集成电路不需要电流大时，该电容吸收数字集成电路流出的电流。这样，退耦电容可用来平衡数字集成电路的工作电流。

如表 14-7 所示是数字集成电路退耦电容的容量和具体要求说明。

| 表 14-7 数字集成电路退耦电容的容量和具体要求说明 |                                                                                        |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 名称                          | 说 明                                                                                    |
| 容量大小                        | 数字集成电路的退耦电容通常取 $0.01\mu\text{F} \sim 0.1\mu\text{F}$ 。在满足使用条件的前提下,尽可能使用容量小的退耦电容        |
| 安装要求                        | 退耦电容尽可能地靠近数字集成电路的电源引脚和接地引脚,在设计电路板(PCB)时要考虑这一安装要求                                       |
| 电容材料要求                      | 对于数字集成电路的这一退耦电容,不能采用普通的电容器,也不能采用电解电容,而应该采用钽电容,因为钽电容有最小的等效串联电阻。注意,钽电容的极性不能接错,否则会爆炸      |
| 钽电容耐压要求                     | 对于5V工作电压的数字集成电路,要采用16V耐压的钽电容,因为正常使用时一般只能使用电容耐压标称值40%左右<br>钽电容耐压高了之后价格贵,所以也不必使用耐压太高的钽电容 |

14.2

二进制数与二进制编码

本节阅读建议：仔细阅读，全面掌握二进制数与二进制编码基础知识。

本节难度系数：5 级。

本节记忆系数：7 级。

人们生活中最熟悉的是 0~9 十个不同的数组成的十进制数，人们生活中也有大量的非十进制计数，例如每七天为一周，时钟转一圈为 12 个小时等。

二进制数中，由于只有“0”与“1”两个数字，所以电子电路中的硬件很容易实现“0”、“1”两种状态的变化。在数字系统电路中，主要是使用二进制数。

用一连串“0”、“1”表示的数称为二进制数，对一系列二进制数组按一定规则排成顺序的脉冲列叫做编码。

重要提示

讲起二进制数就必须提起逻辑代数。逻辑代数是 19 世纪英国数学家布尔提出的，所以逻辑代数又称为布尔代数，它是设计和分析数字电路的数学工具。

逻辑是指思维的规律性，逻辑电路就是能够实现逻辑功能的电路。在数字电路中，大量使用逻辑电路。

★14.2.1 十进制数和二进制数

1. 十进制数特点

十进制数中，有 0、1、2、3、4、5、6、7、8 和 9 共 10 个数码（数字符号），虽然只有这十个不同的数码，但是通过这十个数码可组成许许多多的数。

通过对十进制数的研究,发现它有如下两个特点:

- (1) 无论是多大的十进制数,它都是由上述十个不同数码构成的。
- (2) 十进制数按照逢十进一的原则计数。

## 2. 二进制数特点

二进制数中,虽然只有0、1两个不同的数码,但是通过这两个数码同样可以组成许许多多的数。如111、1010、1000。

通过研究发现,二进制数有如下两个明显的特点:

- 1) 无论是多大的数,都可以通过0、1组成的序列来表示。例如十进制中数3可以用二进制中的11表示。
- 2) 二进制数按照“逢二进一”的原则计数。

## 3. 二进制中“逢二进一”原则说明

如图14-10所示是二进制中“逢二进一”计算示意图。图中是二进制中的两个1相加示意图,即二进制中的 $1+1$ ,如果是十进制则应该等于2,而在二进制中则为10。

从图中可以看出,二进制中 $1+1$ 得0后再向前进一位1,结果为10。

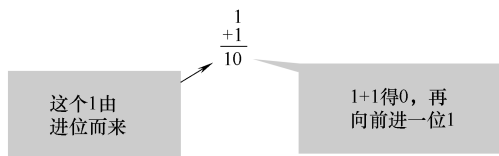


图14-10 二进制中“逢二进一”计算示意图

如图14-11所示是更为复杂些的“逢二进一”原则计数示意图。这是二进制中的11(十进制中的3)加二进制中1(十进制中的1)的相加示意图。

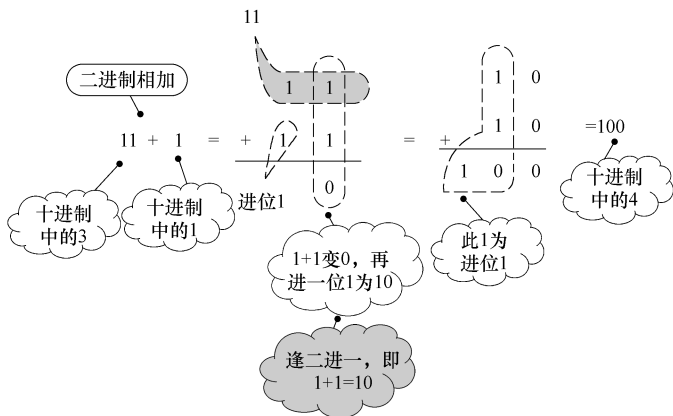


图14-11 “逢二进一”原则计数示意图

二进制数中,无论是哪一位中出现 $1+1$ 时,就进行“逢二进一”的进数,即“ $1+1$ ”就向前进一位,等于“10”。

## 4. 二进制数表达式说明

任何一个二进制数 $N$ 都可以用下式来表示:

$$N = A_{n-1} \times 2^{n-1} + A_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + A_1 \times 2^1 + A_0 \times 2^0 + A_{-1} \times 2^{-1} + A_{-2} \times 2^{-2} + \cdots$$

式中, $n$ 为正整数;“2”是进位基数; $2^{n-1}$ 、 $2^{n-2}$ 、 $\cdots$ 是各位的位权; $A_{n-1}$ 、 $A_{n-2}$ 、 $\cdots$ 二进制数 $N$ 中的各位数码,只有1和0两个。

举例说明如下:

$$\text{二进制数 } N = 1011.01 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 8 + 2 + 1 + 0.25 = 11.25。$$

## ★14.2.2 二进制数四则运算

二进制数的四则运算在习惯上与十进制数不同。



1. 二进制数的加法运算

在进行二进制数的加法运算时要记住下列 4 个公式：

|             |             |             |              |
|-------------|-------------|-------------|--------------|
| $0 + 0 = 0$ | $0 + 1 = 1$ | $1 + 0 = 1$ | $1 + 1 = 10$ |
|-------------|-------------|-------------|--------------|

如图 14-12 所示是上述二进制数中 4 个加法运算公式示意图。

在进行二进制数的加法运算中，主要是“1 + 1”的运算，此时要记住“逢二进一”的原则。在进行加法运算时可用下列方法进行，如进行二进制数的 1101 加 101：

$$\begin{array}{r} 1\ 1\ 0\ 1 \\ +\ 1\ 0\ 1 \\ \hline 1\ 0\ 0\ 1\ 0 \end{array}$$

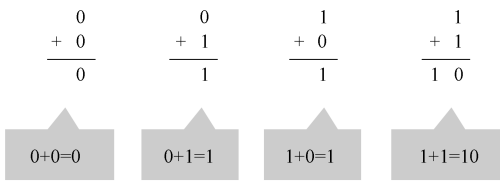


图 14-12 二进制数中 4 个加法运算公式示意图

在 1101 中，第一位是 1，第二位是 0，第三位是 1，第四位是 1，即 1（第四位）1（第三位）0（第二位）1（第一位）。

在 101 中第一位是 1，第二位是 0，第三位是 1，即 1（第三位）0（第二位）1（第一位）。



重要提示

在进行多位二进制数的加法运算时，先将两个二进制数的第一位数对齐，然后垂直方向进行两位二进制数的加法运算，运算中遵循“逢二进一”原则，遇到“1 + 1”时，在本位计 0，再向上一位计 1。

如表 14-8 所示是二进制数 1101 和 101 相加过程说明。

表 14-8 二进制数 1101 和 101 相加过程说明

| 步骤    | 说 明                                                                                                                     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第一位加法 | 对于 $1101 + 101 = 10010$ 而言,从上式中可看出,加法时首先将第一位数对齐,先进行第一位的加法运算,即 1101 中的第一位 1 加上 101 中的第一位 1, $1 + 1 = 10$ ,即本位是 0,向上一位进 1 |
| 第二位加法 | 进行 1101 中的第二位 0 与 101 中的第二位 0 相加,这本来 $0 + 0 = 0$ ,但是在上一步第一位加法运算中已有进一,所以应该是 $0 + 1 = 1$ ,所以相加的结果第二位是 1                   |
| 第三位加法 | 进行 1101 中的第三位 1 与 101 中第三位 1 的相加运算,即 $1 + 1 = 10$ ,这样本位(第三位)是 0,并向上一位进一                                                 |
| 第四位加法 | 进行 1101 中的第四位 1 与第三步进位来的 1 相加,即 $1 + 1 = 10$ 。通过上述四步加法运算,最后 $1101 + 101 = 10010$                                        |

进行二进制数加法运算中，主要难点是：“1 + 1”的运算，此时要记住“逢二进一”的原则。

2. 二进制数的减法运算

进行二进制的减法运算时记住 4 个公式：

|             |             |             |              |
|-------------|-------------|-------------|--------------|
| $0 - 0 = 0$ | $1 - 0 = 1$ | $1 - 1 = 0$ | $10 - 1 = 1$ |
|-------------|-------------|-------------|--------------|

如图 14-13 所示是上述二进制数中 4 个减法运算公式示意图。



重要提示

进行减法运算时，主要困难是：“0 - 1”运算时，要记住向高一位借 1，记住这次由于向高位借了 1，高位要减 1。

减法运算可用下列方法来运算，例如  $1010 - 101$  的减法运算，如图 14-14 所示。

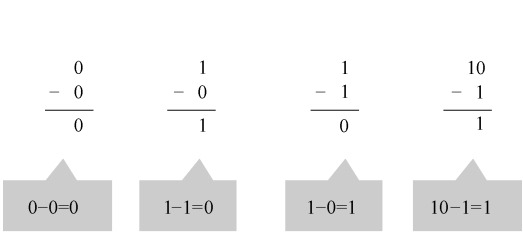


图 14-13 二进制数中 4 个减法运算公式示意图

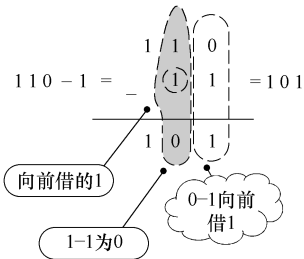


图 14-14 二进制数 1010 - 101 减法运算示意图

如表 14-9 所示是二进制数 1010 - 101 相减过程说明。

表 14-9 二进制数 1010 - 101 相减过程说明

| 步骤    | 说 明                                                                                           |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第一位减法 | 用 1010 中的第一位 0 去减 101 中的第一位 1,即 0-1,此时向上一位借 1,这样本位中有两个 1,减去 1 后本位为 1                          |
| 第二位减法 | 由于 1010 中的第二位 1 已被第一减法运算时借走,所以此时 1010 中的第二位不是 1 了,而是 0。该 0 与 101 中的第二位 0 相减,仍然为 0,即第二运算的结果是 0 |
| 第三位减法 | 用 1010 中第三位 0 去减 101 中的第三位 1,这同样存在向上一位借 1 的问题。最后,1010 - 101 = 101                             |

3. 二进制数的乘法运算

乘法运算记住下列 4 个公式：

|           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0 × 0 = 0 | 1 × 0 = 0 | 0 × 1 = 0 | 1 × 1 = 1 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|

如图 14-15 所示是二进制数乘法运算中的 4 个公式示意图。

4. 二进制数的除法运算

除法运算时记住下列两个公式：

|           |           |
|-----------|-----------|
| 0 ÷ 1 = 0 | 1 ÷ 1 = 1 |
|-----------|-----------|

如图 14-16 所示是二进制数除法运算中的两个公式示意图。

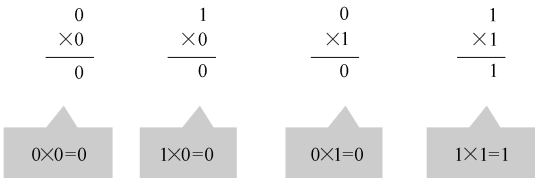


图 14-15 二进制数乘法运算中的四个公式示意图

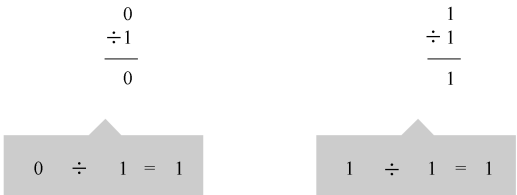


图 14-16 二进制数除法运算中的两个公式示意图



★14.2.3 十进制数与二进制数之间转换方法

1. 转换方法说明



重要提示

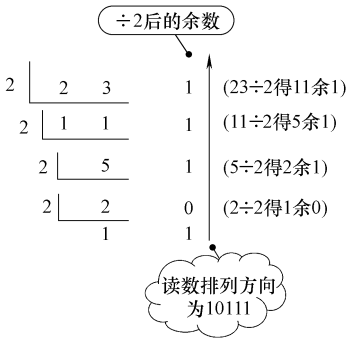
从十进制数转换成二进制数的方法是：除2取余数，即将一个十进制整数不断除2，并依次记下余数，一直除到商为0，然后将所有的余数按相反方向排列，即可完成将十进制数转换成二进制数的过程。

以十进制数23为例，将它转换成二进制数，如图14-17所示是转换过程示意图。

从图中可看出，第一步是 $23 \div 2$ ，为11余1。第二步是 $11 \div 2$ ，得5余1。然后用 $5 \div 2$ ，得2余1。再用 $2 \div 2$ ，得1余0。最后是 $1 \div 2$ ，得0余数是1。将各位数余数从最后一位开始排列，就是10111，这就是十进制数中23。

2. 十进制数与二进制数对照表

如表14-10所示是0~19十进制数的二进制数对照表。



★14.2.4 码的基本名称

所谓二进制码就是用表示低电平的0和表示高电平的1，用一连串0、1来表示一个十进制数值，或是表示一个字母、符号等，这一操作过程称为二进制编码。

图14-17 十进制数与二进制数之间转换过程示意图

表14-10 0~19十进制数的二进制数对照表

| 十进制数 | 二进制数 | 十进制数 | 二进制数 | 十进制数 | 二进制数  |
|------|------|------|------|------|-------|
| 0    | 0    | 7    | 111  | 14   | 1110  |
| 1    | 01   | 8    | 1000 | 15   | 1111  |
| 2    | 10   | 9    | 1001 | 16   | 10000 |
| 3    | 11   | 10   | 1010 | 17   | 10001 |
| 4    | 100  | 11   | 1011 | 18   | 10010 |
| 5    | 101  | 12   | 1100 | 19   | 10011 |
| 6    | 110  | 13   | 1101 |      |       |

由于二进制数运算规律简单，它的“1”和“0”两个码很容易通过电路来实现，所以在数字系统电路中通常采用二进制码（当然数字系统电路中也有3值以上的多值码）。

二进制码的种类很多，这里介绍一些常见二进制码。

1. 数位与比特

码的位叫作数位，英文是 digit。对于十进制码叫作十进制数位，英文是 decimal digit。对于二进制码叫作二进制数位，英文是 binary digit，对于二进制数位一般简称为 bit，中文读作比特。

例如，如某一个二进制码是100101，该码共有6数位，所以称为6bit（比特），又如激光唱机（CD机）通常是16比特的，这说明该CD机记录信息采用16数位。当然，CD机也有多比特的，即大于16比特，还有1比特的。如果不了解比特的含义，那么就不能理解CD机16比特的具体含义。

2. 字

用二进制数表示某一个数值或字符时，该二进制数称为字，英文是 work。在数字系统电路中，所有的信息，包括数据、字母、代表机器操作的指令或数据以及指令存储器中的存放地址等，都是以二进制代码表示。作为一个整体来处理或运算的一组二进制数码称为一个字。

字是二进制数的基本单位，是数据总线宽度。

3. 字长

在微控制器中，一个字的二进制位数称之为字长。微控制器的字长有 1 位、4 位、8 位和 16 位等。

4. 字节

表示方案的信息量的单位常用字节，英文是 byte。

在字长较长时，把一个字分成若干节。现在国际上统一把 8 位二进制数定义为一个字节，而 4 位称为半字节。在习惯上，把  $2^{10} = 1024$  个字节称为 1k 字节。

字节这一名词在数字系统电路中经常出现，要记住它的含义。

5. 字内位的名称

字内各个位的名称是有规定的，具体规定如下所示：最上位（最高一位）的比特叫作 MSB（most significant bit）；次高位叫作 2SB（second significant bit）；由此向下位移动依次各位叫作 3SB（third significant bit）；最后一位的比特叫作 LSB（last significant bit）。

举例如下：

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   |
| ┐   | ┐   | ┐   | ┐   | ┐   | ┐   |
| MSB | 2SB | 3SB | 4SB | 5SB | LSB |

★14.2.5 二进制编码的十进制码

二进制编码的十进制码称为 BCD 码，也称为二—十进制码。BCD 是英文 Binary Coded decimal。这是一个用 4 比特二进制码来表示十进制数的二进制码，即用 4 数位的二进制码来表示十进制数中的 0、1、2、...9。

如图 14-18 所示是一个数字系统电路框图。从图中可看出，数字系统本身只能识别二进制码，但数字系统的外部设备，如输入设备、负载和显示器件都是采用的人们熟悉的十进制数（或是模拟量）。

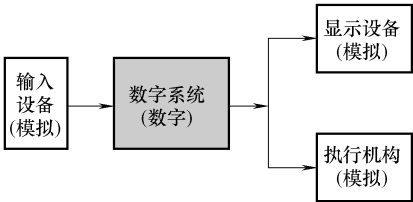


图 14-18 数字系统电路框图

重要提示

由于人们习惯使用十进制数，数字系统的外部设备通常是习惯的十进制数，而数字电路只能识别二进制数码，十进制数或模拟量（模拟信号）输入数字电路之前必须将十进制数转换成二进制数，以便数字系统电路能够接收和进行相应的处理、运算。

同时数字系统的输出显示又必须采用十进制数来表示，所以在显示信息输出数字系统后还要将二进制数还原成十进制数。为了解决这一问题和转换的方便，就利用二进制码来对十进制数字进行编码。

1. 8421 BCD 码

在 BCD 码中，是采用 4 比特的，这样由四位二进制数码可组成十六种状态，而十进制数中的 0、1、2 至 9 只有 10 个，所以可以从中任意选十个状态就可代表 0、1、2 至 9 十个数码了，所以这样的二—十进制有多种，比较常用的是 8421 BCD 码，四位二进制的数权分别是 8、4、2、1。

8421 BCD 码是逢十进位的，所以它又是二进制编码的十进制数，如表 14-11 所示为 8421 BCD 码的编码表。

表 14-11 8421 BCD 码的编码表

| 十进制数 | 8421 BCD 码 | 十进制数 | 8421 BCD 码 |
|------|------------|------|------------|
| 0    | 0 0 0 0    | 3    | 0 0 1 1    |
| 1    | 0 0 0 1    | 4    | 0 1 0 0    |
| 2    | 0 0 1 0    | 5    | 0 1 0 1    |

(续)

| 十进制数 | 8421 BCD 码      | 十进制数 | 8421 BCD 码      |
|------|-----------------|------|-----------------|
| 6    | 0 1 1 0         | 11   | 0 0 0 1 0 0 0 1 |
| 7    | 0 1 1 1         | 12   | 0 0 0 1 0 0 1 0 |
| 8    | 1 0 0 0         | 13   | 0 0 0 1 0 0 1 1 |
| 9    | 1 0 0 1         | 14   | 0 0 0 1 0 1 0 0 |
| 10   | 0 0 0 1 0 0 0 0 | 15   | 0 0 0 1 0 1 0 1 |

从上表可看出，对十进制数中基本的 0~9 十个数各自都用一个 4 比特的二进制码表示，对于十进制数中的二位及二位以上的数，则采用每一位都用一个 4 比特的二进制码来表示，如图 14-19 所示是 169 的表示示意图。

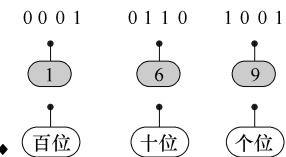


图 14-19 169 的表示示意图

**重要提示**

8421 BCD 码的权是 8421，关于权的概念是这样：在 8421 码 8、4、2、1 是相应位数具有的权或称为位权，具体地讲 8 是最高位（第四位或称为 MSB）的权，4 是次高位（第三位或称为 2SB）的权，2 是第二位权（3SM），1 是最低位（LSB）的权。

根据每一位的权，可以方便地计算出十进制数，举例如下：

例如某一个二进制数码是 0111，则该数码就是十进制数中的  $0 \times 8 + 1 \times 4 + 1 \times 2 + 1 \times 1 = 7$ 。

又如，某 1001 就是十进制数中的  $1 \times 8 + 0 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 = 9$ 。

**2. 其他二—十进制码**

二—十进制码除上述的 8421 BCD 码之外，还有许多种，如表 14-12 是它们的编码表。

表 14-12 二—十进制码编码表

| 十进制数 | 8421 码  | 2421 码  | 5421 码  | 余 3 码(无权) |
|------|---------|---------|---------|-----------|
| 0    | 0 0 0 0 | 0 0 0 0 | 0 0 0 0 | 0 0 1 1   |
| 1    | 0 0 0 1 | 0 0 0 1 | 0 0 0 1 | 0 1 0 0   |
| 2    | 0 0 1 0 | 0 0 1 0 | 0 0 1 0 | 0 1 0 1   |
| 3    | 0 0 1 1 | 0 0 1 1 | 0 0 1 1 | 0 1 1 0   |
| 4    | 0 1 0 0 | 0 1 0 0 | 0 1 0 0 | 0 1 1 1   |
| 5    | 0 1 0 1 | 0 1 0 1 | 1 0 0 0 | 1 0 0 0   |
| 6    | 0 1 1 0 | 0 1 1 0 | 1 0 0 1 | 1 0 0 1   |
| 7    | 0 1 1 1 | 0 1 1 1 | 1 0 1 0 | 1 0 1 0   |
| 8    | 1 0 0 0 | 1 1 1 0 | 1 0 1 1 | 1 0 1 1   |
| 9    | 1 0 0 1 | 1 1 1 1 | 1 1 0 0 | 1 1 0 0   |

**重要提示**

1) 在 2421 码中，2421 是这种编码的权，即 MSB 位的权是 2，2SB 位的权是 4，3SB 位的权是 2，LSB 位的权是 1。

2) 在 5421 码中，5421 是这种编码的权，即 MSB 位的权是 5，2SB 位的权是 4，3SB 位的权是 2，LSB 位的权是 1。

3) 余 3 码这种编码是无权的。



★14.2.6 ASCII 和自然二进制码（见表 14-13）

表 14-13 ASCII 和自然二进制码说明

| 名称     | 说 明                                                                                                                                                                                                            |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ASCII  | 在数字系统中,除数字需要将它们编码成二进制码之外,各种字母和符号也必须按照某种特定规则的<br>二进制编码来表示<br>目前世界上普遍采用的是 ASCII 码(美国标准信息交换码),ASCII 码用 7 位二进制数码来表示,故可表<br>示 $2^7 = 128$ 种不同的字符,这其中包括了 26 个大小写英文字母、10 个十进制数字符号 0~9、7 个标点符号、<br>9 个运算符号以及 50 个其他符号等 |
| 自然二进制码 | 前面的二进制码是自然二进制码,这种码本身只能表示一个正数,不能表示负数,可以在电子电路中的<br>信号通常都是有正、负之分的,显然这种自然二进制码就不能用来表示负值的信号,所以必须有能够表示<br>正、负数的二进制码                                                                                                   |

★14.2.7 能够表示正负数的二进制码——2 的补码（补码）



重要提示

在二进制码中，能够表示正负数值的二进制码有许多种，如 2 的补码、1 的补码、带正负号的自然二进制码、偏移二进制码、偏移反射二进制码等，在这几种编码中它们表示正负数值的方法是不同的。

1. 补数概念

在介绍补码概念之前有必要先介绍补数的概念，以天天见到的时钟为例。设当前的准确时间是 3 点，可时钟停在 11 点位置上，将时钟修正到 3 点位置有两种方法：一是将时钟顺时针方向拨 4 小时，到达 3 点位置；二是将时钟逆时针方向拨 8 小时，到达 3 点。这两种方法的结果是一样的，上述两种拨钟方法可用下式表示：

$$\begin{aligned} 11 + 4 &= 15 \text{ 点} = 3 \text{ 点} \\ 11 - 8 &= 3 \text{ 点} \end{aligned}$$

15 点就是 3 点，这是因为时钟为 12 小时为一个周期计数，称这 12 为模，即时钟系统的模是 12，这 15 和 3 是以 12 为模的同余数，在 12 为模的系统中 4 和 8 互为补数，此外 3 和 9、2 和 10 等都是互为补数，它们的共同特点是两数相加等于 12。因此，要一个的补数，就用模减去这个数就可以了。

2. 补码定义

有了上述补数的概念之后，就能容易理解补码的概念，在数字系统电路的补数就是补码。

所谓一个数的补码（Complement System）就是在该数所属的码制中，从比它高一位的基数（就是前面所讲的模）中减去这个数。在二进制数中的补码就是“2 的补码”，简称补码。所谓高一位的基数是指多一位的最小数，如某二进制数为 1101，这是个四位数，比该数多一位的是五位，五位中最小的数是 10000。

3. 求补码方法

为了进一步说明二进制数补码的含义，这里举例说明，如图 14-20 所示是求数码 1001 的补码过程示意图。

从图中可看出，用一个高一位数 10000 去减这一个数 1001，因为 1001 为四位，所以要用一个五位的 10000 去减它，相减的结果是 0111，这个 0111 就是 10000 的补码。

4. 求补码简单方法

求补码还有一种更简单的方法，如图 14-21 所示也是求数码 1001 的补码示意图。从图中可以看出，第一步将数码 1001 各位先反转，即 0 变成 1，1 变成 0，这样 1001 各位反转后的数码

是0110。

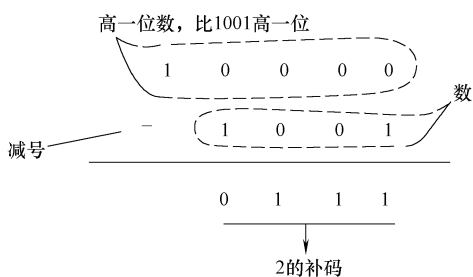


图 14-20 求数码 1001 的补码过程示意图

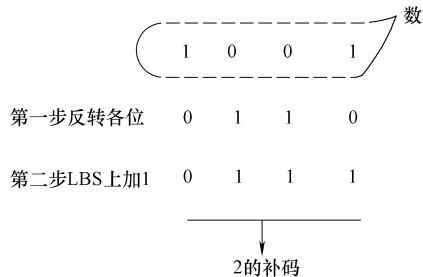


图 14-21 第二种求数码 1001 的 2 的补码过程示意图

第二步是给反转后的数码在最低位（LSB）上加 1，就得到 10000 的补码，见图中所示， $0110 + 1 = 0111$ 。

**重要提示**

有了补码概念之后，二进制的减法运算可以变成加法运算，某数  $A - B$  的运算就等于  $A + B$  的补码，这就变成了加法运算。

**5. 正负数表示方法**

在用 2 的补码表示正负数时，正数用自然二进制码表示，将表示正数的二进制数码称为原码，再用比原码多一位的最小数为参考数，用这一参考数减去原码就得到该原码的负数。

例如，+6 是一个正数，它的二进制数码是 0110（原码），-6 就是  $10000 - 0110 = 1010$ ，也就是 -6 用数码 1010 表示。

如表 14-14 所示是几种能够表示正负数的二进制数码（以 +7 ~ -8 为例）。

表 14-14 几种能够表示正负数的二进制数码（以 +7 ~ -8 为例）

| 十进制数 | 二进制数码 |      |       |      |       |      |
|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|      | 原码加符号 | 补码   | 1 的补码 | 偏置码  | 偏置反射码 | 自然码  |
| +7   | 0111  | 0111 | 0111  | 1111 | 1000  | 0111 |
| +6   | 0110  | 0110 | 0110  | 1110 | 1001  | 0110 |
| +5   | 0101  | 0101 | 0101  | 1101 | 1011  | 0101 |
| +4   | 0100  | 0100 | 0100  | 1100 | 1010  | 0100 |
| +3   | 0011  | 0011 | 0011  | 1010 | 1110  | 0011 |
| +2   | 0010  | 0010 | 0010  | 1010 | 1111  | 0010 |
| +1   | 0001  | 0001 | 0001  | 1001 | 1101  | 0001 |
| +0   | 0000  | 0000 | 0000  | 0000 | 1100  | 0000 |
| -0   | 1000  | 0000 | 1111  | 0000 | 1100  |      |
| -1   | 1001  | 1111 | 1110  | 0111 | 0100  |      |
| -2   | 1010  | 1110 | 1101  | 0110 | 0101  |      |
| -3   | 1011  | 1101 | 1100  | 0101 | 0111  |      |
| -4   | 1100  | 1100 | 1011  | 0100 | 0110  |      |
| -5   | 1101  | 1011 | 1010  | 0011 | 0010  |      |
| -6   | 1110  | 1010 | 1001  | 0010 | 0011  |      |
| -7   | 1111  | 1001 | 1000  | 0001 | 0001  |      |
| -8   |       | 1000 |       | 0000 | 0000  |      |

**重要提示**

从上表中可看出：

- (1) 自然二进制码无法表示负数。
- (2) 原码加符号、补码、反码的正数表示方式与自然二进制是相同的。

## 6. 补码优点

补码具有下列一些优点：

- 1) 因为这种码本身就具有正负性质，所有的加法运算只用加法器求代数和就能实现，运算相当方便。
- 2) 这种码与十进制数中的 0 只有一个对应数码，就是 0000。
- 3) 在数字式音响系统中，当一部分电路出现故障时，所有位的数码都会变成 0 或 1，而在这种码中的 0000 对应于十进制数中的 0，1111 则对应于十进制数中的 -1，这就是说当数字系统电路出现故障时，其输出保持最接近于 0 的状态（-1 也是一个很小的量），这就可以有效地抑制了噪声，防止故障的扩大。正是因为具有这样的特点，所以在 CD 和 DAT 系统中都采用 2 的补码制来编码。

## ★14.2.8 能够表示正负数的其他二进制码

### 1. 循环二进制码（原码加符号码）

循环二进制码的名称较多，如带正负号的自然二进制码（原码加符号）、折叠二进制码（Folded Binary Code）。

在这种码中，有两部分组成：一是用来表示正负号的码，为 0、1；二是自然二进制码，这部分称为数字位码。

在这种编码中，在自然二进制码的最高位再加一位 1 或 0 作为 MSB，用 0 表示是正数，用 1 表示是负数，见表 14-7。

另外，循环二进制码还有一个特点，就是它是由正负符号位加绝对值构成的，见表 14-7 中的 +7 (0111) 和 -7 (1111)，去掉 MSB 位后它们是 111，是相同的，就是一个自然二进制。

从表 14-7 中还可以看出，如果以 +0、-0 为中心就会发现两边的数字位码是对称的，就像镜像一样。

循环二进制码与 2 的补码相比，正数范围相同，负数范围恰好上下颠倒。

### 2. 反码

反码又称为 1 的补码。

除补码概念外还有一个伪补码（减基数的补码），某数的伪补码就是从只比基数小 1 的数（称之为减基数，即基数减 1 后的数）中减去该数，为了理解伪补码概念，下面举例说明求 0110（十进制数中的 +6）的伪补码，如图 14-22 所示。

从图中可看出，+6 的原码是 0110，这是一个四位的自然二进制码，它用来表示十进制中的 +6 数。数码 0110 的基数是比它大一位的最小数，那就是五位数码中的最小数，也就是 10000。基数  $10000 - 1 = 1111$ ，1111 就是减基数。

0110 的伪补码就是减基数（1111）减原码（0110），即等于  $1111 - 0110 = 1001$ 。在反码中，原码 0110 表示 +6，原码的伪补码 1001 就表示 -6。

$$\begin{array}{rcl}
 & \xrightarrow{+6} & \\
 0 & 1 & 1 & 0 \text{ 的伪补码} = (10000 - 1) - 0110 \\
 & \xrightarrow{\text{基数}} & \\
 & \text{比基数小1, 为减基数} & \\
 & = & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 & - & 0 & 1 & 1 & 0 \\
 \hline
 & & 1 & 0 & 0 & 1 \\
 & \text{0110的伪补码} = -6 & & & & 
 \end{array}$$

图 14-22 求 0110 伪补码示意图

### 重要提示

求某一数的伪补码还有一个简便方法，就是将原码中的每位数取反数，即 1 变成 0，0 变成 1，由此得到的一个新数码就是原数码的伪补码，也就是负数。如 0110 各位取反数就是 1001，就是



-6。

二进制数的伪补码叫作1的补码，1的补码也可以和2的补码一样进行加减运算。反码和补码相比，在正数范围内两者完全相同，在负数领域用反码表示数时要比用补码表示的数在LSB位少1，见上表中反码中的-6是1001，而补码中的-6是1010，1001比1010小1。

另外，反码制中与十进制0的数对应数码有2个不同的二进制数，即+0为0000，-0为1111。

3. 偏置码

偏置码又称为偏移自然二进制，在这种码制中正数就用自然二进制码，见表14-7所示，+7就是1111，其中MSB位的1不算，即为111。十进制数中的0不用0000表示，而是向上移动，四位用1000表示，若是六位用100000。

负数码就是用十进制数中0的数码（1000）减去正数码，例如-6的数码就是1000-1110（+6）=0010（-6）。

4. 偏移反射二进制码

偏移反射二进制码又称为偏置反射二进制码，它是对格雷码（格雷码英文是GREY CODE，它是一种无权码，又称之为循环码或反射二进制码reflectde binary code）偏移后得到的，这种码的特点是相邻两个量化电平间仅差1，见表14-7中的偏置反射码，+7（1000）与+6（1001）之间相差1，又如-6（0011）与-5（0010）之间相差1。

这里先提示一句，在数字电视中，对全电视信号进行模数转换得到的数字信号，还要变成格雷码。

5. 小结

关于能够表示正负数的二进制码主要说明下列几点：

- 1) 自然二进制码由于不能直接表示负数，所以在数字系统中不能作为一种实用的二进制码来对电信号进行编码，当电信号有正负值之分时，必须使用具有正负数表示功能的二进制码。
- 2) 在一些具有表示正负数功能的二进制码中，MSB是表示正负号的位，如前面介绍的补码、反码等码制。
- 3) 在二进制码家族中，除上述几种码制还有很多，这里不再一一介绍。
- 4) 同一种二进制码的名称有多种，为了方便对它们的识别，小结成如表14-15所示。

表 14-15 同一种二进制码的名称

| 二进制码名称   | 其他名称          | 英文名称                               |
|----------|---------------|------------------------------------|
| 2的补码     | 补码            | 2'complement system                |
| 循环二进制码   | 原码加符号码、折叠二进制码 | folded binary code                 |
| 1的补码     | 反码、伪补码        | 1'complement system                |
| 偏置码      | 偏移自然二进制       |                                    |
| 偏移反射二进制码 | 偏置反射二进制码      |                                    |
| 格雷码      | 循环码<br>反射二进制码 | GREY CODE<br>reflected binary code |

5) 为了进一步理解各种能够表示正负数的二进制码与十进制数之间关系，如表14-16所示给出9种码制之间的一一对应关系。

表 14-16 9种码制之间的对应关系

| 4位二进制码 | 自然二进制数 | 原码加符号码 | 补码 | 反码 | 偏置二进制码 | 偏置反射二进制码 |
|--------|--------|--------|----|----|--------|----------|
| 0111   | 7      | +7     | +7 | +7 | -1     | -3       |
| 0110   | 6      | +6     | +6 | +6 | -2     | -4       |
| 0101   | 5      | +5     | +5 | +5 | -3     | -2       |
| 0100   | 4      | +4     | +4 | +4 | -4     | -1       |



(续)

| 4 位二进制码 | 自然二进制数 | 原码加符号码 | 补码 | 反码 | 偏置二进制码 | 偏置反射二进制码 |
|---------|--------|--------|----|----|--------|----------|
| 0011    | 3      | +3     | +3 | +3 | -5     | -6       |
| 0010    | 2      | +2     | +2 | +2 | -6     | -5       |
| 0001    | 1      | +1     | +1 | +1 | -7     | -7       |
| 0000    | 0      | +0     | 0  | +0 | -8     | -8       |
| 1111    | 15     | -7     | -1 | -0 | +7     | +2       |
| 1110    | 14     | -6     | -2 | -1 | +6     | +3       |
| 1101    | 13     | -5     | -3 | -2 | +5     | +1       |
| 1100    | 12     | -4     | -4 | -3 | +4     | 0        |
| 1011    | 11     | -3     | -5 | -4 | +3     | +5       |
| 1010    | 10     | -2     | -6 | -5 | +2     | +4       |
| 1001    | 9      | -1     | -7 | -6 | +1     | +6       |
| 1000    | 8      | -0     | -8 | -7 | 0      | +7       |

### 14.3 数字电路二进制码传输和存储

本节阅读建议：精心阅读，全面掌握数字电路二进制码传输和存储基础知识。  
本节难度系数：5 级。  
本节记忆系数：7 级。

#### ★14.3.1 二进制码传输

在模拟电路中信号的传输是相当熟悉的，那在数字电路中的二进制数码是如何传输的呢。数字系统电路中一切信号、一切控制操作都是二进制数，这些二进制码在数字系统电路的传输方式有两种：一是串行传输，二是并行传输。

##### 1. 串行传输方式

二进制数码是一连串 1、0 构成的数据，在串行传输方式中是将这些二进制数中的各位 1、0 码按先后顺序逐个传输，传输数码所需要的导线数目只用一条就可以了，如图 14-23 所示是数字电路中的串行传输示意图。

从电路中可看出，电路 A 输出了一个 4 位的二进制码，即  $D_0=1$ ， $D_1=0$ ， $D_2=1$ ， $D_3=1$ ，该 4 位数码加到电路 B 中，从电路 B 输出时就采用了串行传输方式，此时传输这 4 位二进制数码就只用了一根导线。

在串行传输时，先传输第一位数码  $D_0=1$ ，再传输第二位数码  $D_1=0$ ，然后依次传输  $D_2=1$  和  $D_3=1$ ，当采用电平调制串行传输时，信号为高电平时为 1，信号为低电平时为 0，其信号传输波形如图 14-23b 所示。

如果采用脉冲位置调制（PPM）串行传输方式，脉冲间隔宽者为高电平 1，脉冲宽度窄者为低电平 0，如图 14-24 所示， $D_0$ 、 $D_1$  和  $D_3$  脉冲宽，表示为高电平 1， $D_2$  脉冲窄，表示为低电平 0。

##### 2. 并行传输方式

并行传输是二进制数码的各位同时传输，这样要求传输导线的数目与二进制数码的位数相同，例如传输一个 8 位二进制数码时要使用 8 条导线。

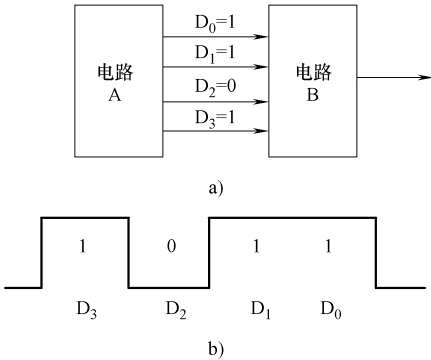


图 14-23 数字电路中的串行传输示意图



在并行传输方式中，各位的数值用该位的电位的“高”或“低”来表示。高电平为“1”，用“H”表示，低电平为“0”，用“L”表示，如图 14-25 所示是 4 位二进制数码并行传输示意图。

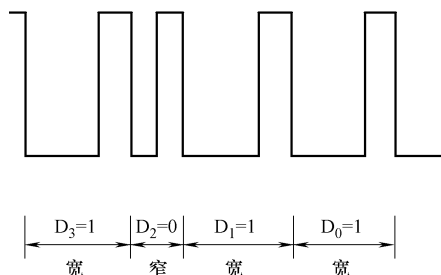


图 14-24 脉冲位置调制串行传输示意图

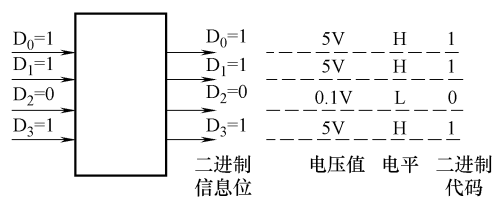


图 14-25 4 位二进制数码并行传输示意图

**重要提示**

从图中可看出，电路中共有 4 位二进制数码，在传输时它们同时传输，不像串行传输那样要一位一位传输。在这一电路中，高电平 1 的电压值是 5V，低电平 0 的电压值是 0.1V。在采用并行传输方式时，要求电路有相应多的输出端和传输线路，不像串行传输电路中只要用一个输出端和一条线路。

**3. 识图小结**

关于数字电路中的二进制码的传输主要说明下列几点：

- 1) 串行传输和并行传输不是不可以改变的，并行传输通过并行/串行接口电路就可以变并行传输为串行传输。反之，串行传输通过串行/并行接口电路就可以变串行传输为并行传输。
- 2) 串行传输有的像模拟电路中的信号传输，按照顺序一个一个数码地传输数据，并行传输则是数字系统电路中特有的传输方式。
- 3) 并行传输时传送二进制数的位数，一般与传输导线的数目相同，但与串行传输方式相结合，采用多次传输的方法可不受传输导线数目的限制。例如，某 4 位微控制器地址总线为 4 条，电路第一个周期传输 4 位，第二个周期再传输 4 位，前者为低 4 位，后者为高 4 位，这样就构成 8 位地址码。

**★14.3.2 码的传输速率和带宽**

**1. 码的传输速率**

在模拟电路中，有一个信号工作频率的问题。在数字系统中也一样，将单位时间内（每 1s）传输数码的比特数就叫作码的传送速率（transmission rate），或称为记录速率（recording rate），或称之为传输码率，简称码率。

在实用数字音响和数字视频电路中，除了信息比特之外（即音频或视频信号数字化的比特），还要加入同步和误码校正（纠错）等冗余比特，因此传输速率还要增加 30% ~ 40%。

码的传输速率的单位是比特/秒（bit/s）。

例如，CD 机的取样频率是 44.1MHz 和 16 比特的量化位，此时码的传输速率是 1.41Mbit/s，如果加入同步和误码校正（纠错）等冗余比特，传输速率约为 2Mbit/s。

**重要提示**

所谓高效率编码是指用某种手段把传送或记录数字化音响信号所需要的每单位时间的比特数减少的技术。高效率编码有两种方法：一是去掉信号的冗余度，并且希望在不降低信号质量的前提下节约传送通路。二是利用人耳听觉、视觉特性，容许信号质量有某种程度的降低，将信号压缩，节

约比特数。

## 2. 带宽

在模拟电路有个频带宽度指标，在数字电路也同样存在这一问题，当码的传输速率高时，就要求有相应宽的频带，码率越高要求的带宽越宽。

例如，CD 机的传输速率是 2Mbit/s，则要求电路带宽为 1 ~ 1.5MHz。

### ★14.3.3 二进制数存取

数字电路与模拟电路还有一个不同之处就是，数字电路中有许多存储器电路，在工作过程时常要从存储器里取出有关信息，或送入有关信息，这在模拟电路是不可能的，因为模拟电路中没有具有记忆功能的存储器电路。

#### 1. 信息存放电路

在数字电路中的有关信息的存放有专门的记忆功能电路，如寄存器、存储器，这两种存放信息的电路用来存放各种功能的二进制码，关于寄存器电路和存储器电路将在后面章节中详细介绍。

#### 2. 读写操作

在数字系统电路中，将信息（二进制码）从存储器电路中取出称为读操作，将信息存入存储器电路称为写操作，对存储器的读、写操作称为访问存储器。

对存储器进行存取时，起码需要下列两条控制线：

1) 一条是区分读操作中写操作的读/写（R/W）控制线，这根线要连接到 CPU 的 R/W 引出端，由 CPU 决定读出或写入（即确定数据流向）。

2) 第二条线是片选控制线 CS，有时也称片启动控制线 CE。当片选信号到来时（这里为高电平），存储器才工作。否则由于三状态驱动器的控制，存储器对数据总线呈高阻状态。



#### 重要提示

在数字系统中的微控制器使用了能够存储大量信息的存储器，为了识别各个存储单元，以便存取信息，给这些存储单元进行了编号，这个编号就是各个存储单元的地址，即用二进制代码表示的地址码。通常是根据地址总线上的地址来查找存储器中的存储单元，将数据写入或读出。

## 14.4 数字电路知识点

本节阅读建议：快速阅读，全面了解数字电路知识点。

本节难度系数：4 级。

本节记忆系数：5 级。

### ★14.4.1 门电路知识点

#### 1. 逻辑门电路

逻辑门电路是数字电路中最基本的单元电路，是构成各种逻辑功能电路的基本电路。逻辑是指思维的规律性，在电子电路上能够实现逻辑功能的电路就称为逻辑电路。

在数字电路中，最基本的逻辑电路则是按简单规律动作的电子开关电路，我们将这种电子开关电路称之为逻辑门电路。

由于数字电路中最基本的器件为电子开关，它只有两个状态：一是开关的开，二是开关的关，数字系统电路中的电子开关电路就是逻辑门电路。

逻辑门电路又叫逻辑电路。逻辑门电路的特点是只有一个输出端，而输入端可以只有一个，也可以有多个，且常常是输入端多于 1 个。



重要提示

逻辑门电路的输入端和输出端只有两种状态：

- 1) 输出高电平状态，此时用 1 表示。
- 2) 输出低电平状态，此时用 0 表示。

按逻辑功能划分基本的逻辑门电路主要有这样几种：或门电路、与门电路、非门电路、或非门电路和与非门电路。

按照构成门电路的电子元器件种类来划分，门电路有这样几种：二极管门电路、TTL 门电路和 MOS 门电路。

2. 或门电路

或门电路的英文名称为 OR gate。

或门电路可以完成或逻辑。如图 14-26 所示电路可以说明或逻辑的概念。

图中三个开关  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  相并联，对于要灯泡 EL 亮而言，只要  $S_1$ 、 $S_2$  或  $S_3$  中有一个开关接通，灯泡 EL 便能点亮。这种要灯泡亮的条件称之为“或”逻辑，能够实现或逻辑的电路称之为或门电路。

如图 14-27 所示是或门电路的逻辑符号。

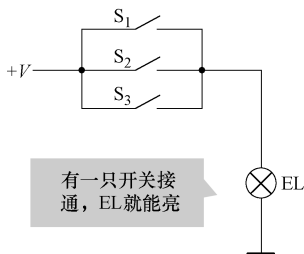


图 14-26 示意图

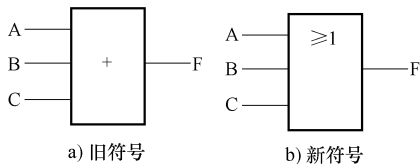


图 14-27 或门电路逻辑符号

3. 与门电路

与门电路的英文名称为 AND gate。与门电路可以完成与逻辑。

如图 14-28 所示的开关电路可以说明与逻辑的概念，图中三个开关  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  相串联，对要灯泡 EL 亮而言，必须做三个  $S_1$ 、 $S_2$  和  $S_3$  同时接通，若三个开关中有一个开关没有接通，灯泡 EL 因电路不成回路而不能点亮。这种要灯泡亮的条件称之为“与”逻辑，与门电路能够实现与逻辑。

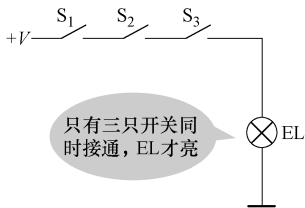


图 14-28 示意图

如图 14-29 所示是与门电路电路符号。

4. 非门电路

非门电路的英文名称为 NOT gate。非门电路可以实现逻辑。

所谓非逻辑就是相反，如 1 的非逻辑是 0，0 的非逻辑是 1。数字系统中的非逻辑可以用非门电路来实现。

如图 14-30 所示是最新规定的非门电路符号，在过去的非门电路符号中没有 1 标记。

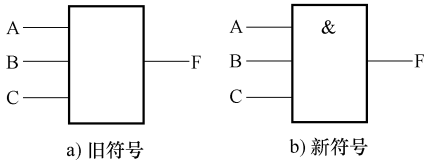


图 14-29 与门电路电路符号

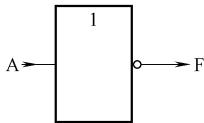


图 14-30 最新规定的非门电路符号



如图 14-31 所示是晶体管构成的非门电路，非门电路实际上是一个反相器。

5. 与非门电路

与非门电路的英文名称为 NAND gate。

前面介绍过与门电路和非门电路，与非门电路就是实现先与逻辑再非逻辑的电路。由于与非门电路中存在非逻辑，所以这种电路要使用晶体管。

如图 14-32 所示是与非门电路符号。

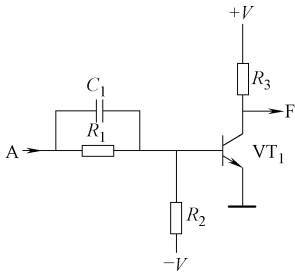


图 14-31 示意图

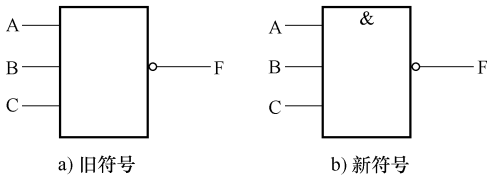


图 14-32 与非门电路符号

6. 或非门电路

或非门电路的英文名称为 NOR gate。

或非门电路的组成是这样：在或门电路之后再接一个非门电路，从逻辑功能上讲这种电路可以实现先或逻辑再非逻辑的功能。

如图 14-33 所示是或非门电路符号。

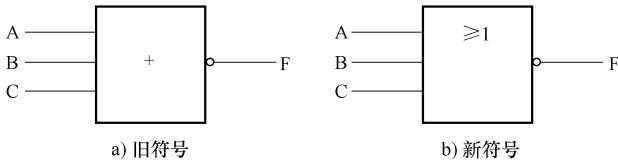


图 14-33 或非门电路符号

7. 其他门电路

1) 与或非门电路。与或非门电路是两个或两个以上与门和一个或门，再一个非门串联起来的门电路，如图 14-34 所示是这种逻辑门电路结构示意图和电路符号。

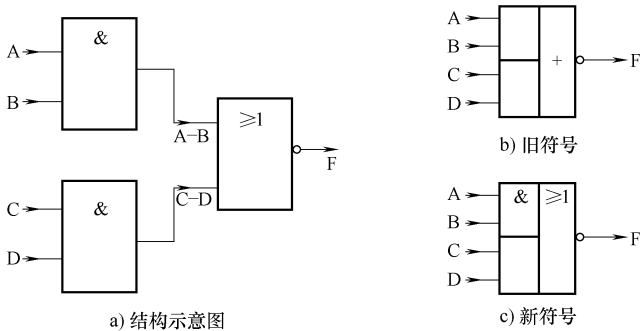


图 14-34 与或非门电路结构示意图和电路符号

从结构示意图中可看出，两个与门的输出端分别输出  $A \cdot B$  和  $C \cdot D$ ，加到或非门电路的两个输入端，这样就构成了与或非门电路。显然，四个输入端  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  先两个与逻辑运算，再对结





果进行或逻辑运算，最后再次进行非逻辑运算。

2) 异或门电路。如图 14-35 所示是异或门电路符号。这种逻辑门电路只有两个输入端，一个输出端。

输出端与输入端之间的逻辑关系是：当两个输入端一个为 1，另一个为 0 时，输出端为 1。当两个输入端都是为 1 或都是为 0 时，输出端为 0。

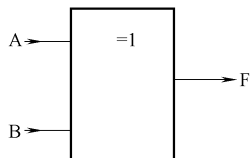


图 14-35 异或门电路符号

3) OC 门电路。OC 是英文 open collector 的缩写，OC 门又称为集电极开路与非门，它的逻辑功能同其他与非门电路一样是与逻辑，只是具

体的与非门电路结构不同，如图 14-36 所示这种与非门的电路符号。

4) TSL 门电路。TSL 是英文 Tristate Logic 的缩写，TSL 门又称为三态门电路。

前面介绍各种门电路的输出端输出状态只有两种：一是高电平 1，二是低电平 0。三态门输出端状态有三种，除高电平 1 和低电平 0 之外，还有一态是高阻状态，或称为禁止状态。

当这种门电路输出端处于 1 或 0 状态时，与前面介绍的门电路相同，当三态门电路处于高阻状态时，门电路的输出级管子处于截止状态，整个三态门电路相当于开路，输入端的输入信息对此时的门电路输出端状态不起作用。

如图 14-37 所示是三态门电路符号。三态门电路控制端对门电路控制状态有两种情况：

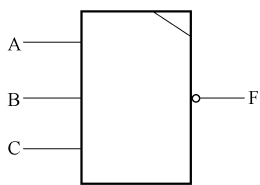


图 14-36 OC 门电路符号

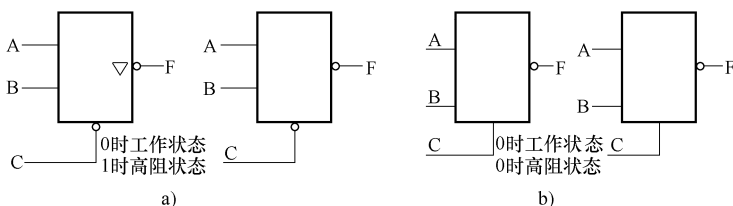


图 14-37 三态门电路符号

一是控制端为高电平 1 时，门电路进入高阻状态，此时的三态门电路符号如图 14-37a 所示，控制端 C 上有一个小圆圈。

二是控制端为低电平 0 时，门电路进入高阻状态，此时三态门电路符号如图 14-37b 所示，这时的三态门电路符号中控制端 C 上没有小圆圈。

5) 复合门电路。采用分立元器件二极管和晶体管组合而成的门电路称为复合门电路，这种门电路在带负载能力、工作速度和可靠性等方面都是比较好的。

6) DTL 门电路。DTL 是英文 Diode-Transistor Logic 的缩写，意为二极管—晶体管逻辑门电路，这种门电路是最简单的集成电路门电路。

7) STTL 门电路。STTL 门电路是 SBD TTL 门电路的简称，中文名称有抗饱和 TTL 门电路，或称为肖特基钳位 TTL 门电路，这种门电路传输速度很高，是 TTL 门电路的改良型门电路，这种门电路中采用了肖特基势垒二极管。

8) ECL 门电路。ECL 是英文 Emitter Coupled Logic 的缩写，中文称之为射极耦合逻辑门电路，这种电路又称为电流开关型电路，即 CML 逻辑门电路，CML 是英文 Current Mode Logic 的缩写。

这种门电路也是 TTL 门电路的改良型电路，TTL 门电路中的晶体管都要工作在饱和状态，为了提高开关速度（晶体管导通与截止转换速度），只有通过改变电路工作状态，将晶体管的饱和型工作改变成非饱和型工作，才能从根本上提高门电路的开关速度，ECL 门电路就是一种非饱和型高速数字集成电路，它是双极型门电路中工作速度最快的一种门电路。

9) I<sup>2</sup>L 门。I<sup>2</sup>L 是英文 Integrated Injection 的缩写，中文意思为集成注入逻辑门，这是一种高集成度的双极型逻辑电路，这种门电路的基本结构如图 14-38a 所示，图 14-38b 所示是这种逻辑门的电路符号。

虽然基本的  $I^2L$  门电路是一个反相器电路，但是运用这种基本门电路可以组成或非门等各种逻辑门电路。

10) CMOS 传输门。CMOS 传输门就是用 CMOS 电路构成的传输门，所谓传输门就是一种可控开关电路，它接近于一个理想的电子开关，其导通时电阻只有几百欧，截止时的电阻高达  $M\Omega$  级。传输门用 TG 表示，TG 是英文 Transmission gate 的缩写，如图 14-39 所示是 CMOS 传输门电路符号。

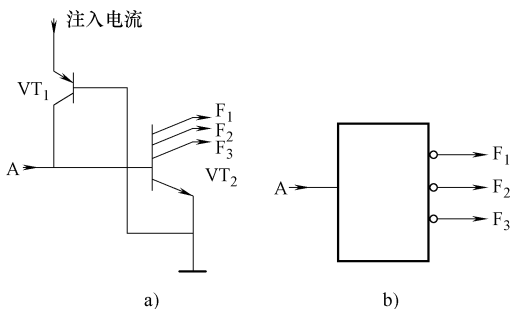


图 14-38 示意图

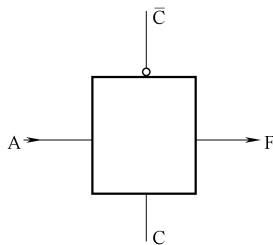


图 14-39 CMOS 传输门电路符号

## ★14.4.2 触发器知识点

### 1. RS 触发器

逻辑门电路有一个特点，就是输出端状态完全由输入端决定，没有输入信号就没有输出信号，即输入信号一旦消失输出信号也就不存在，显然这种逻辑电路没有记忆功能，可在数字系统电路中经常需要对运算数据进行存储，这就需要具有记忆功能的部件，触发器就是这种具有记忆功能的最基本部件。

触发器的电路结构与逻辑门电路有关，当将逻辑门电路进行适当的组合时，就能得到触发器，所以逻辑门电路是构成触发器的基本单元电路。

触发器的主要特点如下：

1) 触发器有两个输出端和多个输入端。逻辑门电路只有一个输出端，而触发器有两个输出端，一般用  $Q$  和  $\bar{Q}$  来分别表示两个输出端，在没有具体说明是哪一个输出端时，通常是指输出端  $Q$ ，而不是输出端  $\bar{Q}$ 。触发器输入端的多少根据不同类型触发器其数目不等。

2) 触发器具有记忆功能。各种触发器的基本功能是能够存储二进制码，具有记忆二进制数码的能力。由于触发器具有记忆功能，所以触发器在受输入信号触发后进行工作时，不仅受到输入信号的影响，还要受到触发器本身所记忆数码（即前次触发结果）的影响，这一点是逻辑门电路完全不同。

3) 两个互为相反的输出端。触发器的两个输出端  $Q$  和  $\bar{Q}$  其输出状态始终相反，从两个输出端的字母符号上也可看出这点，当  $Q=1$  时  $\bar{Q}=0$ ，当  $Q=0$  时  $\bar{Q}=1$ 。规定触发器的输出端状态是指输出端  $Q$  的输出状态，即  $Q=1$  时说成触发器输出高电平 1， $Q=0$  时就是触发器输出低电平 0。

如图 14-40 所示是使用与非门构成的基本 RS 触发器的电路符号，输入端的两个小圆圈表示这种触发器是低电平 0 触发。

如图 14-41 所示是或非门构成的基本 RS 触发器电路符号。

4) 触发器的两个输出端输出状态必须相反。如果两个输出端的输出状态相同或不是一个输出 1 一个输出 0，都说明触发器已不能进行正常的工作。

5) 触发器两个稳定状态可翻转。触发器两个稳定状态是可以发生翻转的，本来如果是 1 态（ $Q=1$ ， $\bar{Q}=0$ ）在输入端有效触发信号的作用下，触发器可以翻转到输出 0 态，同样的道理如果本来触发器的输出状态为 0 态，在输入端有效信号的触发下翻转到 1，无论触发器如何翻转，其输出

状态都在 1 和 0 之间变化。

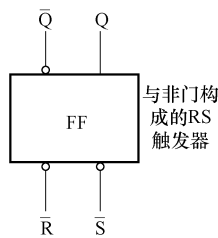


图 14-40 使用与非门构成的基本 RS 触发器电路符号

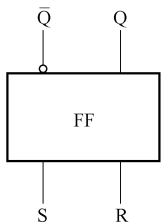


图 14-41 或非门构成的基本 RS 触发器电路符号

触发器种类较多，不同的分类方法有不同的触发器名称。

1) 按逻辑功能划分。触发器按逻辑功能划分主要有 RS 触发器、JK 触发器、触发器 D、T 触发器和 T'触发器几种类型。

2) 按电路结构划分。触发器电路结构划分有基本的 RS 触发器、同步触发器、主从触发器、维持阻塞触发器。

注意，同一种结构的触发器可具有不同功能的各类触发器，例如主从触发器可组成 RS、JK、D、T、T'触发器。

2. 同步 RS 触发器

前面介绍的基本 RS 触发器的输出端状态直接受到输入端 R、S 的控制，数字系统中的工作往往有一个时间节拍的问题，即要求有关逻辑电路按照一定的时间要求进行协调工作，即要求 R 或 S 对触发器的触发结果按一时间节拍要求反映到触发器的输出端来。

数字系统电路中时常出现一个名词“时钟”，时钟电路产生的脉冲称为时钟脉冲，它是一个标准脉冲源，数字系统中电路中各逻辑电路的工作都在时钟脉冲的管理下工作，所以同步 RS 触发器是受时钟脉冲管理的一种 RS 触发器。所谓同步就是 RS 触发器的输入端触发工作与时钟脉冲的工作同步，这是时序逻辑电路的一个重要特点。

同步触发器种类较多，同步 RS 触发器只是同步触发器中的一种。

如图 14-42 所示是同步 RS 触发器的电路符号。CP 是一个输入控制端，作用于这一输入端上的控制脉冲就是时钟脉冲。

CP 是英文 Clock Pulse 的缩写，有时也用 C 表示。在加入 CP 脉冲之后，这一触发器的工作过程发生了一些变化，其电路原理要分成 CP = 1 和 CP = 0 两种情况。

3. 其他触发器

1) 主从触发器。主从触发器的出现是为了克服同步 RS 触发器构成的计数器电路中的空翻现象。

如图 14-43 所示是主从触发器的电路符号，注意在这一电路符号中 R 和 S 端有两根引脚。

2) 主从 JK 触发器。如图 14-44 所示是主从 JK 触发器电路符号。

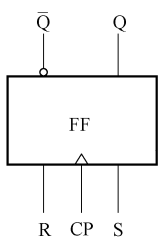


图 14-42 同步 RS 触发器的电路符号

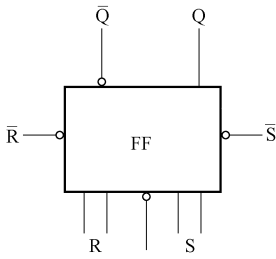


图 14-43 主从触发器的电路符号

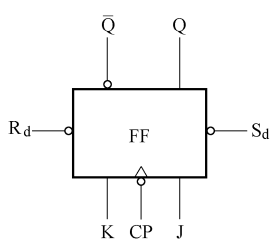


图 14-44 主从 JK 触发器电路符号

3) D 触发器。D 触发器中的 D 是英文 Delay, 意为延迟。D 触发器是在主从 JK 触发器基础上变化而来, 如图 14-45 所示是 D 触发器电路符号。

4) 维持阻塞 D 触发器。维持阻塞 D 触发器是维持阻塞触发器中比较常见的一种, 维持阻塞触发器通常由 6 个与非门构成, 所以也称为 6 门触发器, 维持阻塞触发器是一种能够克服触发器空翻的触发器。

5) T 触发器。T 触发器是从主从 JK 触发器变化而来, 实际上它就是将主从 JK 触发器中的输入端 J 和 K 加上 1, 就构成一个 T 触发器, 如图 14-46 所示是 T 触发器电路符号。

T 触发器具有翻转开关 (Toggle Switch) 的作用, 所以它又称这翻转触发器或计数触发器。这种触发器的功能是, 每来一个时钟脉冲或是计数脉冲, T 触发器输出端 Q 就翻转一次。

6) T' 触发器。T' 触发器也是由主从 JK 触发器变化而来的, 当将主从 JK 的两个输入端 J 和 K 相相接, 就得到一个输入端, 用 T' 表示, 这样就构成了 T' 触发器, 如图 14-47 所示, 从图中可看出, 输入端 J 和 K 相连接, 得到新的输入端 T'。

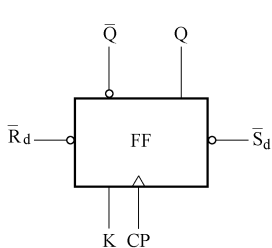


图 14-45 D 触发器电路符号

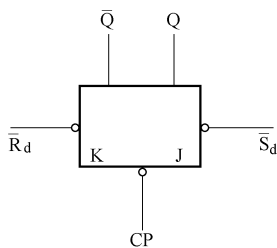


图 14-46 T 触发器电路符号

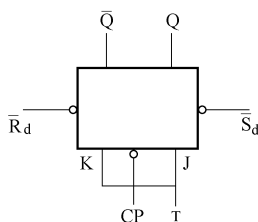


图 14-47 示意图

### ★14.4.3 组合逻辑电路知识点

#### 1. 组合逻辑电路

数字电路大致可分成两大类电路：组合逻辑电路和组合逻辑电路。

组合逻辑电路简称组合电路。在组合逻辑电路中, 电路中的某一输出端在某一时刻的输出状态仅由该时刻的电路输入端状态决定, 与电路原状态无关, 这种电路称为组合逻辑电路。组合逻辑电路不具有记忆功能, 它的任一组合输出值, 完全由当时输入值的组合确定, 而与电路在输入信号作用前的状态无关。

如图 14-48 所示是组合逻辑电路框图, 从这一框图中可看出两点: 一是电路的输出端与输入端之间没有反馈回路, 二是电路的输出端只取决于电路同一时刻的输入端状态。

组合逻辑电路包括这样几种电路: 基本运算器电路、比较器电路、判奇偶电路、数据选择器、编码器电路、译码器电路和显示器电路。

#### 2. 基本算术运算器电路

基本的逻辑运算是逻辑与、逻辑或、逻辑非, 而最基本的算术运算是加、减、乘、除, 但数字电路中的加、减、乘、除都通过分解变成加法来运算, 所以最基本的算术运算就是加法运算。

加法器主要有半加法器和全加法器两种电路。

1) 半加器。两个一位的 (1 比特) 二进制数相加, 叫作半加, 实现两个一位二进制数相加运算的电路叫作半加器电路。如图 14-49 所示是半加器电路符号。

2) 全加器。如图 14-50 所示是全加器电路符号, 从图中可看出, 它与半加器不同之处就是多了一个输入端 CN-1, 称为低位进位数端。A 是加数输入端, B 是被加数输入端, SN 是和数输出端, CN 是向高位进位数输出端。

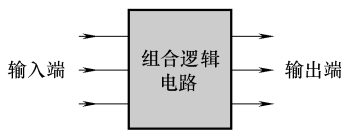
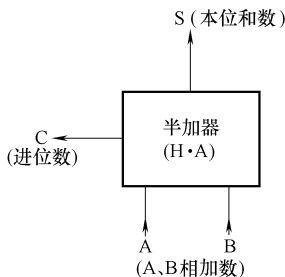


图 14-48 组合逻辑电路框图



比较器具体包括两种电路：一是大小比较器，二是同比较器，二者统称为比较器。这是数字电路中的比较器，所以它们所比较的数是二进制中的数码。

比较器有一位数码比较器和多位数器比较器两种，前者只能对一位二进制数进行比较，后者则能对多位二进制数进行比较。

### 4. 判奇（偶）电路

判奇（偶）电路是一种用来判断若干个输入信号中，判断奇个或偶个高电平 1 的电路。

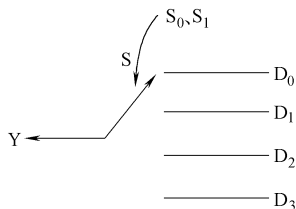
1) 判奇电路功能。判奇电路的逻辑功能是：在输入的若干个信号中，若高电平 1 的数目是奇数个时，判奇电路输出高电平 1，若是偶数个高电平 1 时，则判奇电路输出低电平 0。

2) 判偶电路功能。判偶电路的逻辑功能是：在输入的若干个信号中，若高电平 1 的数目是偶数个时，判偶电路输出高电平 1，若是奇数个高电平 1 时，则判偶电路输出低电平 0。

### 5. 数据选择器

数据选择器的英文名称是 Multiplexer。

在模拟电路中有一种选择开关电路（或功能开关电路），如图 14-51 所示，它的作用是从众多的输入信号中选择一路信号作为后级电路的输入信号，数据选择器是用于数字系统中的选择开关电路。具体地讲，数据选择器的功能是在选择控制信号作用下，从若干输入数据中选择一路作为输出。所以，数据选择器又称为多路选择器或多路开关电路。



2) 数据选择器电路的输出端状态只取决于同一时刻的输入状态，所以这是一组合逻辑电路。

3) 对于选择控制信号，也就是通道地址选择的作用是：当数字系统要求数据选择器从某一个输入数据中取出一个数据时，首先要给出通道地址选择。

### 6. 数据分配器

数据分配器的英文名称是 Demultiplexer。

数据分配器与数据选择器的功能相反，数据选择器是将众多数据选择到一个通道中，而数据分配器是将一个数据分配到许多通道电路中，就是将一个数据按照规定要求分成几个部分，然后通过通道地址选择端将分割的数据送到相应的通道电路中。

如图 14-52 所示是数据分配器电路符号。电路中，X 是控制输入端，J 是数据输入端，A、B、C 是通道地址选择端，Y0 ~ Y7 是 8 个输出端，这 8 个输出数据送到各自的通道电路中。

### 7. 编码器

在数字系统电路中，通常数字电路只能识别 1 和 0 两个码，而模拟系统中的各种变量和字符（如十进制数中的 0 ~ 9，字母和符号等）数字电路是无法直接识别的，必须将这些分量和字符用 1



和 0 两个码来编排，就是将若干个 0 和 1 按一定规律编排在一起“编成不同代码”，并且将这些代码分别赋给特定的含意，这一过程叫编码，能够完成编码的电路叫作编码器电路。

如图 14-53 所示是二进制编码器示意图。电路中， $A_0 \sim A_{15}$  是 16 个需要进行二进制编码的不同的特定含义量，这 16 个是编码器的输入端。 $Y_1 \sim Y_4$  是这一编码器的 4 个输出端，每个输出端只有 1 和 0 两种状态，4 个输出端共可组合 16 种不同的组合，每一个组合就代表了输入端 16 个量中某一个量。

在二—十进制编码中，可以用四位的二进制码来表示十进制数中的 0~9，这样的编码过程称为二—十进制编码。

## 8. 译码器

译码器的功能从广义角度上讲，是将一种编码转换到另一种编码的电路。译码是编码的反过程，常用的译码器是一种将二进制编码还原成给定的信号，或字符等内容的电路。这一节主要介绍将二进制编码译成十进制数的译码器。

如图 14-54 所示是二—十进制译码器示意图，这是一个四位的二—十进制译码器示意图，图中 A、B、C 和 D 译码器输入端，输入二进制数码。 $W_0$ 、 $W_1$ 、…是译码器的输出端，输出代表十进制数中的控制信号。

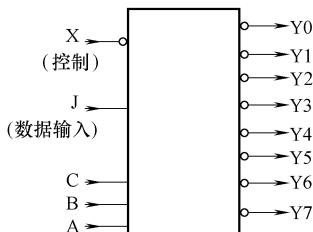


图 14-52 数据分配器电路符号

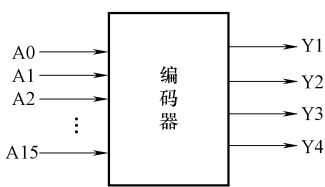


图 14-53 二进制编码器示意图

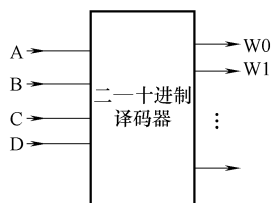


图 14-54 二—十进制译码器示意图

## 9. 数字式显示器

数字系统电路中，许多情况下都需要使用数字式显示器，如机器的操作和工作状态的显示，机器播放时间长度显示等，由于数字系统中关于播放时间长度、工作状态、操作状态等都是用二进制数码存放、运算、管理的，但在最后它们必须通过熟悉的十进制数或字母等显示出来，这就要靠显示器来完成。

如图 14-55 所示是数字显示电路组成框图，从图中可以看出，显示电路主要由译码器、驱动器电路和显示器三部分组成。

1) 译码器。加到译码器电路中的数码是二进制数码，它们表征了所要显示的信息，但由于是二进制数码只有 0 和 1 两种状态，如果直接显示这两种状态是非常容易的，如用发光二极管导通表示 1，发光二极管不发光表示 0，那么这种显示电路就相当简单。

但是，这样的显示结果无法观看，因为平时不熟悉这种二进制数，所以在显示之前必须先进行“翻译”，将这些二进制数“翻译”成平时熟悉的十进制数字和符号，这一任务由译码器来完成。

2) 驱动器。经过译码器“翻译”的信号电平还是很小的，一般不能直接去驱动显示器件，加一级驱动器电路进行电流或电压的放大。

3) 显示器件。显示电路最终通过显示器表现出文字、数字或符号，显示器件是用来显示文

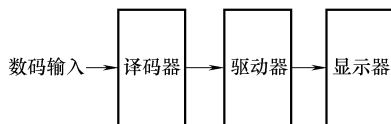


图 14-55 数字显示电路组成框图





字、数字、符号等的器件。

### ★14.4.4 时序逻辑电路知识点

#### 1. 时序逻辑电路

在数字系统电路中还有另一种类型的电路，就是电路的输出端的输出状态不仅取决于当时的电路输入状态，并且还与电路原状态相关，这样的电路称为时序逻辑电路。时序逻辑电路包括这样几种电路：寄存器、计数器和节拍脉冲发生器。

如图 14-56 所示是时序逻辑电路框图，从这一方框图中可看出两点：一是时序逻辑电路在组合逻辑电路的基础上，在电路的输出端和输入端之间接有一个反馈回路，这种反馈回路至少有一条。二是在反馈回路中含有存储单元电路，即存贮器电路。

由于时序逻辑电路中存在了存贮器电路，所以电路的输出状态不仅与当时的输入端状态有关，还与电路原先状态（存贮器中的信息有关）。时序逻辑电路的分析比组合逻辑电路分析要复杂，当将存贮器中的信息（为原电路输出端状态）作为另一个输入量加到电路输入端来对待，此时时序逻辑电路分析就相当于组合逻辑电路分析了。

时序电路是在组合逻辑电路的基础上，再加上存储单元电路而构成。时序电路特点是在任意时刻的输出信号不仅取决于该时刻的输入信号状态，而且还决定于电路的原来状态。

一般时序电路中的存储电路由触发器组成，如 RS 触发器、JK 触发器和 D 触发器。

时序电路可以分成下列两大类电路：

1) 同步时序电路。同步时序电路中存储电路的各触发器都受同一时钟脉冲 CP 的触发控制，因此所有触发器的状态变化都在同一时刻发生，如在时钟脉冲的 CP 作用下在 CP 脉冲的上升沿或下降沿发生翻转。

2) 异步时序电路。异步时序电路中存储电路的各触发器没有统一时钟脉冲，或者没有时钟脉冲控制，因此各触发器状态翻转变化不是发生在同一的时刻。

#### 2. 寄存器

寄存器在数字系统中的主要作用是存储数码或信息，例如数字系统中的运算器需要寄存器电路存储参与运算的数据等。

寄存器由触发器组成，一个触发器能存放一位二进制数码，几个触发器联用就可存放几位数码。为了保证寄存器只在收到寄存指令时才寄存输入的数码或信息，寄存器除了有触发器外，还需要配有控制作用的逻辑门电路。

寄存器可以分成两大类。

1) 数码寄存器。它又称为基本寄存器。这种寄存器只能将输入数码暂时寄存起来。另外，在数字系统中，为了准确地读取被测量的数值，需要使用一种记忆寄存器，当记忆指令到来时，记忆寄存器能将数码暂时记忆起来。

2) 移位寄存器。数字系统中，由于某种运算的需要，除要求寄存器能够寄存数码功能外，常常还要求寄存器中的数码能够左右移位。这种具有数码移动功能的寄存器称为移位寄存器。

#### 3. 计数器

计数器是数字系统电路中应用最为广泛的基本部件，计数器的基本功能是对脉冲信号进行计数，它的这种基本功能不仅可以作为计数器使用，还可以进行数字运算，还可以用作分频器、定时及程序控制等。

1) 二进制计数器。这种计数器是数字系统中最基本的、运用最多的一种计数器。这种计数器在进行加法计数运算时，遵循“逢二进一”的原则。

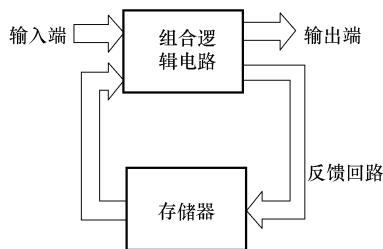


图 14-56 时序逻辑电路框图

二进制计数器除有加法计数器外，还有减法计数器和能加能减的可逆计数器。另外，二进制计数器还可分成异步计数器和同步计数器两种，还可以分成串行计数器和并行计数器。

2) 加法器计数器。加法器计数器可进行加法运算，可以用进行脉冲个数的累加计数，可进行二进制、十进制或其他进制的加法运算。

3) 减法器计数器。减法器计数器可进行减法计数运算，可进行二进制、十进制或其他进制的减法计数运算。

4) 异步计数器。所谓异步计数器就是计数脉冲是从最低位触发器的输入端输入，其他各级触发器则是由它相邻且低一位的触发器来触发，即异步计数器中的各触发器不是由同一计数脉冲触发的。

5) 同步计数器。所谓同步计数器就是计数器中的各触发器都是由同一计数脉冲或时钟脉冲触发的，使计数器中的各触发器输出状态改变与唯一的脉冲源同步。

阅读完成时间：\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日，用时\_\_\_\_\_天。

签 名：\_\_\_\_\_

阅读体会：（请写 10 个收获最大的知识点关键词）

阅读困惑：（请写 10 个最难理解的知识点关键词）

# 第15章

## 音频和视频数字化基本原理

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日  
本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！  
本章阅读建议：快速阅读，全面了解音频和视频数字化基本原理  
本章难度系数：7 级。  
本章记忆系数：5 级。

音频和视频设备有模拟和数字两类，即模拟的音频、视频设备和数字的音频、视频设备，音频和视频信号是模拟信号，在进行数字化处理时要将这些模拟信号转换成数字化的信号。

### 15.1 音频信号数字化基础知识

音频信号是一个连续变化的信号，所以它是模拟信号，将模拟信号（音频信号）处理成一个数字信号的过程称为模拟信号的数字化。

各种音频节目源的电信号变化都是连续的，对这种连变化的信号进行数字式记录之前，必须先 将模拟信号转换成数字信号，所以记录在 CD 光碟上的音频节目源信号是数字式音频信号，记录在 VCD、超级 VCD 和 DVD 光碟上的音频节目源也是数字式的信号。

#### ★15.1.1 音频模拟信号数字化过程

##### 1. 数字记录系统框图

如图 15-1 所示是一个音频数字式记录系统的框图。对模拟信号进行数字化记录时，首先就是

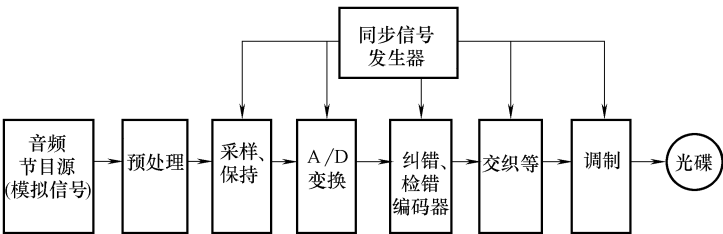


图 15-1 数字式记录系统框图

要将模拟信号转换成数字信号。



#### 重要提示

将连续的模拟信号转换成离散的数字信号有各种各样的方法，在数字音响中是采用称之为 PCM 的方法。在数字音响中要实现模拟信号的数字记录，首先必须将模拟信号转换成数字信号，这个过程称为脉

冲编码调制 PCM。PCM 方法中，主要是三步：一是采样和保持，二是量化，三是编码。

如表 15-1 所示是采样、量化和编码说明。

表 15-1 采样、量化和编码说明

| 名称 | 说 明                                                      |
|----|----------------------------------------------------------|
| 采样 | 所谓采样就是以适当的时间间隔检测和得到模拟信号波形在采样点的幅值,这一过程称为采样                |
| 量化 | 所谓量化就是在采样的基础上,将各个时刻(采样点)波形的幅值(称为采样值)用二进制数码进行表示,这一过程称之为量化 |
| 编码 | 所谓编码就是在量化的基础上,将这些量化后的二进制数码组按一定规则排成顺序的脉冲列,这一过程叫作编码        |

## 2. 数字化过程

从方框图中可看出，音频信号源的模拟信号首先要加到预处理电路中进行预处理，这主要是采用低通滤波限制频带宽度，将高频段信号（如 20kHz 以上的信号）去除，因为不这样做原信号频谱与数字化后的频谱相互间产生重叠，解调后主原信号会产生失真，这种现象称为混叠现象。输入信号到预处理这一步信号仍然是模拟信号。

输入信号进行预处理后，信号加到采样、保持电路中，开始对模拟信号进行实质性的数字化处理，通过 A/D（模拟 - 数字）变换器之后的信号已经是数字化后的音频信号了。

通过 A/D 变换器之后的数字音频信号并不能直接进行记录，而是要进行一系列的处理，先加到纠错、检错编码器中，然后对其输出信号经过交织、调制之后，才能送入光盘刻录机对光碟进行刻录，完成模拟信号的数字式记录。

## 3. PCM

PCM 是一种信号调制方式。调制是一种对信号进行变换处理的手段，例如大家非常熟悉的调幅调制（Amplitude Modulation，AM）和调频调制（Frequency Modulation，FM），在信号传输或记录重放过程中，采用调制技术可将信号变换成适合线路传输或录放系统记录的形式。

PCM 方式是法国人 A·H·里福斯（A·B·Reews）于 1937 年发明的，但是真正研究使用 PCM 技术还在 20 世纪 60 年代以后，由于集成电路技术的发明和迅速发展，特别是大规模集成电路技术的出现和成熟，PCM 技术才得以广泛应用。



### 重要提示

PCM 就是脉冲编码调制，PCM 是英文 Pulse Code Modulation 的缩写。所谓脉冲编码调制就是将模拟信号变换成数字信号的过程。在实现 PCM 过程中，主要是对模拟信号的采样和保持处理，然后是进行量化处理，最后是编码处理，这三个过程合起来称为 PCM。

## 4. 脉冲编码调制信号波形

如图 15-2 所示是脉冲编码调制信号波形，从图中可看出，连续变化的模拟信号通过 PCM 处

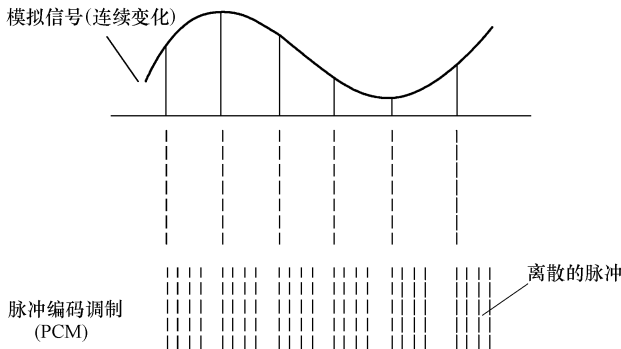


图 15-2 PCM 信号波形示意图



理，就成了离散的等幅、等宽的脉冲串。

5. 信号调制种类

信号调制方式除上述的 PCM、AM 和 FM 之外还有多种，如表 15-2 所示。

表 15-2 其他五种信号调制说明

| 名称   | 说 明                                                                                                             |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 脉幅调制 | 这一调制用 PAM 表示,PAM 是英文 Pluse Amplitude Modulation 的缩写。在这种调制方式中,脉冲的宽度相等,但脉冲的幅度不同,模拟信号的幅度越大,调制后的脉冲幅度也越大             |
| 脉位调制 | 这一调制用 PPM 表示,PPM 是英文 Pluse Position Modulation 的缩写。在这种调制方式中,各脉冲的宽度和幅度都是一样的,但脉冲在时间轴上的位置不同,用这种脉冲的位置不同来表示模拟信号的幅度变化 |
| 脉宽调制 | 这一调制用 PWM 来表示,PWM 是英文 Pluse Width Modulation 的缩写。在这种调制方式中,各脉冲的幅度都是一样的,但脉冲的宽度不同,模拟信号的幅度越大,调制后的脉冲宽度也越大            |
| 脉数调制 | 这一调制用 PNM 表示,PNM 是英文 Pluse Number Modulation 的缩写。在这种调制方式中,各脉冲的幅度和宽度都是一样的,但每个采样点的脉冲数目不同,模拟信号的幅度越大,每个采样点的脉冲数目就越多  |
| 相位调制 | 这一调制用 PM 表示,PM 是英文 Phase Modulation 缩写。在这种调制中,用模拟信号的幅度去调制载波的相位                                                  |

6. 连续波参数调制

在上述各种调制方式中，AM、PM 和 FM 三种调制方式都有个共用的特点，就是调制后的信号波形仍然是连续波，三种调制方式的信号波形示意图如图 15-3 所示。

7. 脉冲参数调制

PAM、PPM、PWM、PNM 和 PCM 调制后的信号波形都有个特点，就是调制信号波形都变成了脉冲信号，所以称这些调制为脉冲参数调制。如图 15-4 所示是 PAM、PPM、PWM 和 PNM 调制信号波形示意图。

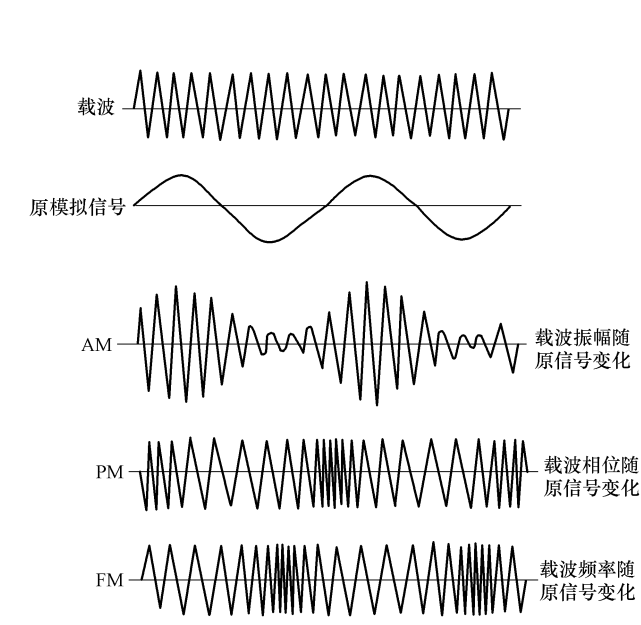


图 15-3 AM、PM 和 FM 调制信号波形示意图

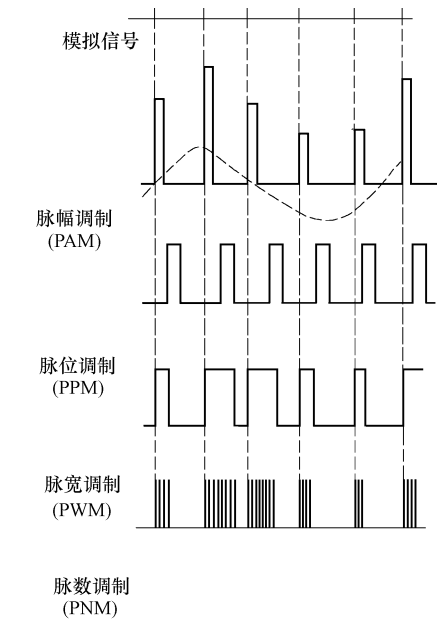


图 15-4 PAM、PPM、PWM 和 PNM 调制信号波形示意图

在 PAM、PPM、PWM、PNM 和 PCM 调制方式中,只有 PNM 和 PCM 两种调制后的信号为数字信号,因为这两种调制方式中都对模拟信号进行采样后量化,将模拟信号转换成了离散的脉冲数目或脉冲码。在其他的调制方式中,虽然调制后信号变成了脉冲波形,进行了采样,但没有进行量化处理,所以仍然是模拟量,还不是数字信号。

### ★15.1.2 了解音频信号数字化过程的意义

#### 1. 意义

现在家用电器中,数字式的音频设备主要是激光 CD 播放机、超级 VCD 播放机中的音频部分、数字式调谐电路等,在对这些民用电器电路进行分析时,要用到各种技术性很强的术语、名词,而这些名词、术语都是与音频信号数字化过程有关,所以了解音频信号数字化过程,是为了更好地进行数字式信号源重放电路的分析。

#### 2. 内容

为了更好地学习 CD 播放机等数字式音频民用电器的整机工作原理,对音频信号数字化、编码过程要了解下列一些内容。

- 1) 对音频信号的采用、保持、量化和调制过程。
- 2) 帧的构成和帧同步概念。
- 3) 误码控制原理,误码的检测和纠错等。
- 4) 数字音频信号处理电路基本原理。
- 5) 各种数字音响的关键部件等。



#### 学习方法提示

在学习音频信号数字化、编码等内容时,要注意下列几个方面的问题:

- 1) 对一些技术性名词、术语要理解,并要记住它的具体含义。
- 2) 对音频信号数字化的过程只要了解就可以,但对一些重点环节要记住,如音频信号的采用、保持、量化、调制、帧的构成和帧的同步等。
- 3) 在分析 CD 机的整机电路过程中,就是对音频信号数字化、编码的反过程,也就是解码、数字信号模拟化。
- 4) 要了解一些专用的英文缩略语,如 PCM 的具体含义,否则在进行整机电路分析过程中,因经常出现这类英文缩略语而无法理解电路分析内容。

## 15.2 音频信号的采样、保持、量化、编码和调制过程

音频信号的采样、保持、量化和编码过程是脉冲编码调制 (PCM) 过程。

### ★15.2.1 音频信号采样和保持

#### 1. 音频信号采样

所谓采样就是将随时间连续变化的模拟信号大小 (振幅),按一定的时间间隔采集样值,这样形成在时间上不连续的脉冲序列,这一操作叫作采样,如图 15-5 所示是采样过程示意图。

关于音频信号采样要说明下列几点:

- 1) 从图中可看出,在  $t_A$  时刻,模拟信号的在图中的 A 点,此时的幅度是 5,采样的作用就是要在  $t_A$  时刻测出信号幅度为 5。同样的道理,在  $t_B$  时刻得到的采样值是模拟量的 7。每一个采样点,都可以得到一个与该时刻信号振幅对应的样本,这一对应的信号幅度值叫作本值或采样值。通过采样已经将在时间上连续变化的模拟信号变成了一列的样本值,注意这一样本值还不属于数字信





号的范畴,因为它还不符号数字信号的定义。

2) 对一个模拟信号的采样是不断进行的,相邻两个采样点的时间间隔是相同的。采样点选取应有一点规律的,每隔一段时间就进行一次采样,单位时间对模拟信号的采样次数称为采样频率。

3) 采样频率的选择要科学,香农采样定理可以解决这一问题。该定理说,如果将随时间变化的信号波形用该信号所含最高频率信号的2倍的频率进行采样,就可以通过称为插补的方法,正确地将原取样值还成原来的信号波形。

在音频系统的两头是模拟电路或称为模拟器件,对模拟信号的数字化处理只是为了传输、记录和信号的处理方便,最终它必须还原成模拟信号,所以对模拟信号的数字化处理必须考虑数字化的信号还要还原这一点。香农采样定理从采样频率这一角度上讲述了还原成模拟信号对采样频率的要求。

4) 所谓插补又称为内插,它是采样的反过程,就是将一系列样本值之间的空隙补上,使之恢复原来的波形特征,这就是插补。

## 2. 音频信号采样保持电路

采样保持电路用于对模拟信号采集样本值,如图15-6所示是音频信号采样保持原理电路图。电路中,输入信号 $U_i$ 是模拟信号,其输出信号是一种阶梯信号,注意它还不是数字信号,只有对这种阶梯信号经量化处理后才成为数字信号。

从图中可看出,采样保持电路主要由输入缓冲放大器电路、模拟开关电路、保持电容和输出缓冲放大器电路组成。

1) 输入缓冲放大器。这一放大器用来将输入信号源与取样保持电路之间进行隔离,以防止输入信号源电路对采样保持电路正常工作的影响。

输入缓冲放大器的输出信号加到取样开关的输入端。

2) 模拟开关。所谓模拟开关就是采样开关,当该开关接通时,在开关接通这一时刻将输入信号加到保持电容上,由于采样开关的速度很快,即接通后立即断开,这样在开关接通时刻的输入信号幅度大小就是该时刻电容 $C_1$ 上的充电电压大小,这就是该时刻对输入模拟信号的采样值。

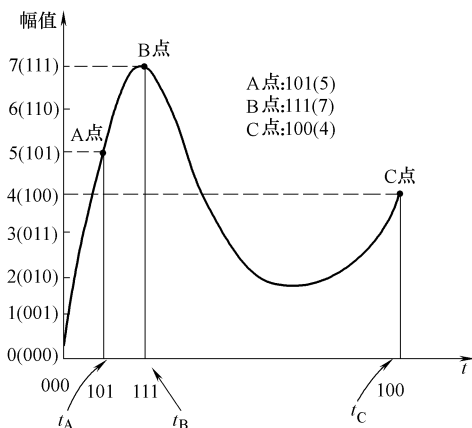


图 15-5 采样过程示意图

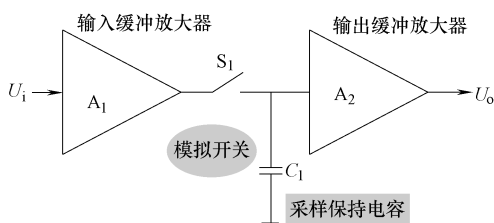


图 15-6 音频信号采样保持原理电路图



### 重要提示

采样开关受一个专门脉冲开关控制信号的控制,在开关脉冲出现时模拟开关接通,在开关脉冲消失时,模拟开关断开,该开关断开后等待下一次的脉冲开关信号的出现,进行第二次采样。

模拟开关每秒钟接通的次数就是采样频率,接通的时间就是采样时间。如音乐信号采样频率为44.1kHz,采样时间一般小于25 $\mu$ s。

3) 保持电路。保持电路由保持电容和输出缓冲放大器构成。为便于量化处理,模拟开关采集到的样本电平值送到保持电容,通过保持电容保持采样得到的电平值,这一电平经输出缓冲放大器放大后输出。

当下一个采样值送到保持电容上,保持电容和输出缓冲放大器又保持和输出最新的采样电平



值。采样保持电路的输出信号波形示意图如图 15-7 所示。

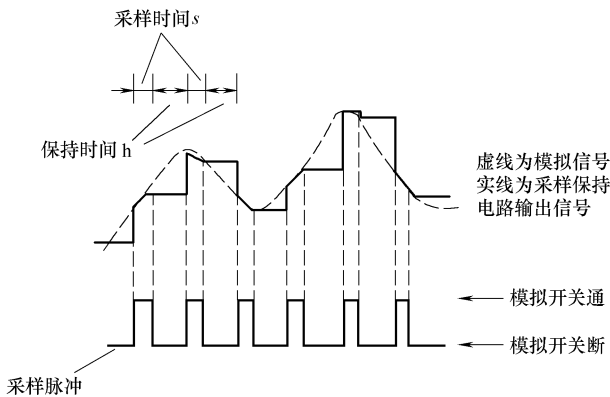


图 15-7 采样保持电路输出信号波形示意图

从图中可看出，模拟信号经过采样保持电路处理后变成了一种阶梯信号，该阶梯信号在时间轴上仍然是连续的，所以它还是一种模拟信号而不是数字信号，这一阶梯信号要经量化编码处理后才能变成数字信号。

3. 负半周信号的采样和保持

上面介绍了正半周信号的采样和保持过程，对于负半周信号的采样和保持工作过程同正半周一样，如图 15-8 所示可以说明这一点。图中， $U_i$  为一个具有正负半周的输入模拟信号， $U_o$  是经过采样保持电路后的输出信号， $f_s$  是采样脉冲。从图中可看出，负半周信号经过采样保持电路后，输出的是负阶梯信号。

采样保持电路输出的正、负半周阶梯信号从幅值上讲采样过程是相同的，但在后面的量化编码时，要将正、负半周信号区分出来，即会出现表示负数的二进制编码方法。

4. 采样频率、采样时间和保持时间

1) 采样频率。采样频率就是指模拟开关的工作频率，即该开关单位时间内（每秒）开、关动作的次数，见采样脉冲  $f_s$  波形，采样信号是一个矩形脉冲信号，它等幅、等宽、在时间轴上均布。

从采样保持电路输出信号波形就能够看出，采样频率越高，采样保持输出信号的波形与原模拟信号越相近，恢复原信号时的失真就越小。

但是，采样频率高将增大所需要记录的信息量，对信号处理器件和电路提出了更高的要求，这必将增加成本。所以，对于各种模拟信号的采样频率有专门的标准，对采样频率等做出了科学的规定。

2) 采样时间。采样时间是指模拟开关的接通时间，也就是采样脉冲的脉冲宽度。

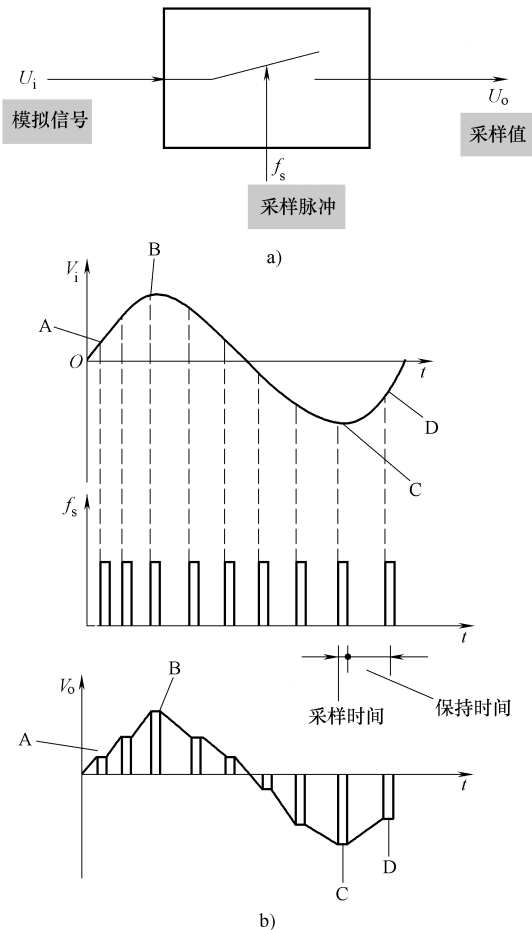


图 15-8 负半周信号的采样保持示意图



3) 保持时间。相邻两个采样时间的间隔就是保持时间，采样时间和保持时间之和等于采样周期，采样周期的倒数就是采样频率。

★15.2.2 音频信号量化

1. 量化概念

从某种意义上讲，量化就是通过四舍五入的方法将采样后的模拟信号转换成一种数字信号的过程。从前面采样可知，在模拟信号采样后的信号是一种阶梯信号，它虽然在时间轴上已经离散，但是这种阶梯信号幅值仍然是连续的，若对这种信号用二进制数码为进行精确表示，需要无穷多位的二进制编，所以要采用四舍五入的方法将每一个采样值归并到某一个临近的整数，这样就可以用一定字长的二进制码来表示采样值，这种取有限个数值近似地表示某一连续变化信号的过程称为量化。

为了进一步说明这种四舍五入方法，这里用三位（3 比特）的二进制数码进行量化的过程来说明，如图 15-9 所示。

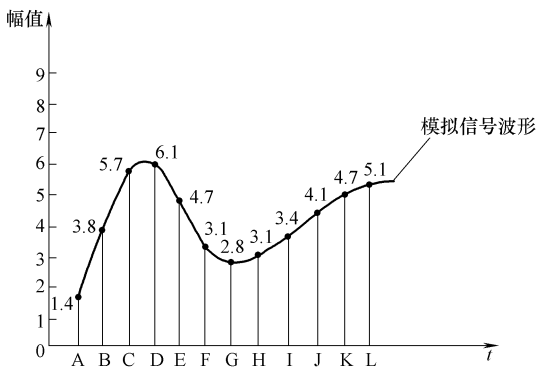


图 15-9 示意图

图中，输入信号是一个模拟信号，采样点为 A ~ L，幅值范围为 0 ~ 9，采样值、量化和编码的结果如表 15-3 所示。

表 15-3 采样值、量化和编码的结果

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 采样点 | A   | B   | C   | D   | E   | F   | G   | H   | I   | J   |
| 采样值 | 1.4 | 3.8 | 5.7 | 6.1 | 4.7 | 3.1 | 2.8 | 3.1 | 3.4 | 4.1 |
| 量化值 | 1   | 4   | 6   | 6   | 5   | 3   | 3   | 3   | 3   | 4   |
| 编码  | 001 | 100 | 110 | 110 | 101 | 011 | 011 | 011 | 011 | 100 |

从上表中可看出下列几点：

1) 对采样值进行四舍五入处理，如采样点 A 的采样值为 1.4，根据四舍五入的原则取整数 1 为量化值，同理采样点 G 采样值为 2.8，取量化值为 3。只有采用这种取整数值的方法，才能使用有限字长的二进制码来表示采样值。

2) 在采用这种四舍五入的方法量化后，对原信号是产生了一定程度的误差值，当这种误差值小到一定程度时，人耳也不能加以辨别，这样对还原信号的听音不会产生过份的影响，是人耳听觉器官所能接受的。

3) 量化值的取整数为后面的编码提供了保证。用多少位的二进制数码来进行编码又决定了量化等级。如上面举例的是采用 3 位二进制数码，它只能对输入信号分成  $2^3 = 8$ ，即只能有 8 个整数量化值，若采用 8 位的二进制数码来进行编码就能达到  $2^8 = 256$  个整数值。显然，当采用的编码位数越多，量化值与采样值之间的误差就越小。

2. 量化器

如图 15-10 所示是量化器特性示意图，图中虚线是线性输入输出特性，实线是量化输入输出特性。从图中可看出，输入信号的增大或减小，输出信号呈阶梯状变化，量化就是用这种特性的电路实现的，具有这种特性的电路称为量化器。

图中阶梯的高度称为量化阶梯高度。

3. 均匀量化和非均匀量化

所谓均匀量化就是无论信号大小如何，都是用具有同样量化阶梯高度的方式进行量化。把根据



信号大小具有不同量化阶梯高度的量化方式叫作非均匀量化，非均匀量化的缺点是量化噪声随输入信号大小而变化，重放时会出现噪声喘息现象，因而在音响领域现在都采用均匀量化方式。

4. 量化噪声

从上图中可看出，输入量化器的输入信号是连续变化的信号，而从量化器输出的信号是阶梯状信号，用离散值表示连续值会造成误差，即量化后的输出信号与量化前的输入信号之间出现幅值上的误差，这一误差称为量化误差。由于量化误差对信号而言是一种噪声，所以量化误差又称为量化噪声。

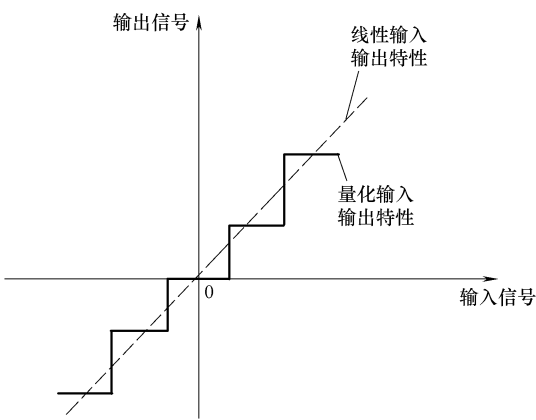


图 15-10 量化器特性示意图

5. 量化数  $N$  和量化级数  $M$

如果用一个  $N$  位的二进制数码来表示一个量化级，则它所能表达量化级的总数  $M = 2^N$ 。式中的  $N$  称为量化数，又称为量化比特数， $M$  称为量化级数。

如果一个信号的幅值在  $-U \sim +U$  范围内变化，对它的量化分  $M$  个级数，则就必须使用  $N$  位的二进制数码。实验证明，要获得高保真的音响效果，量化数至少大于 14 比特，数字音频的量化数  $N$  为 16 比特，此时音频信号从弱音到强音可分成 65536 个量化级。换言之，就是数字音频中将模拟信号的最小信号到最大信号分成 65536 个阶梯进行量化。

★15.2.3 音频信号编码

由于量化过程中的四舍五入，所以采样值经量化后是一个确定的值，将这一确定值变换成码列的操作过程叫做编码。编码工作由称之为编码器的电路来完成，所谓编码器就是能够完成量化和编码的电路。编码器有多种结构，如逐次比较式、级式和双积分式等，比较常用的是逐次比较式编码器。

1. 二进制编码

采用二进制编码时，编码过程就是将各采样点采样值的量化电平用二进制码来表示，如前面图 15-9 中所示的各采样点 A ~ J，将各采样点的二进制码按先后顺序串联起来就是编码，即编码后的数字信号为 001100110110101011011011011100。

通过编码已经将输入的模拟信号转换成一串 0、1 的数字信号，即一连串脉冲信号，这些脉冲具有等幅、等宽的特性，这样的一连串脉冲信号就是 PCM 信号（脉冲编码调制信号）。

2. 高效率音频编码技术简介

在数字音频记录和传送系统中，采用高效率编码技术可以减少单位时间的比特数。高效率编码技术主要有两种方法：

- 1) 去掉信号的冗余度，并且希望在不降低信号质量的前提下节约传送通路。
- 2) 利用人耳听觉的特性（如掩蔽效应等），在容许信号质量有某种程度降低的情况下，将记录或传送的数据加以压缩。

高效率音频编码器的种类较多，如表 15-4 所示是 7 种高效率音频编码器说明。

表 15-4 7 种高效率音频编码器说明

| 名称     | 说 明                                                                        |
|--------|----------------------------------------------------------------------------|
| 差分 PCM | 它就是 DPCM。PCM 方式将采样值转换成二进制数码后进行记录和重放，它不一定要记录采样值本身，也可以记录采样值之间的差值，这种方式就是 DPCM |



(续)

| 名称             | 说 明                                                                                                                                            |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 预测编码           | 这种编码方式就是从过去的几个采样值预测现在的采样值,再将真正的采样值与预测值之差进行编码                                                                                                   |
| 熵编码            | 它又称为平均信息量编码。数字化信号电平一般是小电平比大电平出现的机会要多得多,对于出现频度高的电平用短码,对于频度低的电平用长码,这样可节省传送的比特率,这样的编码称为熵编码                                                        |
| 瞬时压缩扩展和准瞬时压缩扩展 | 对模拟信号的压缩扩展处理是比较熟悉的,这种对信号的压缩和扩展方法还要在模—数转换或数—模转换时进行,也可以在数字化后用数字运算的方法对数字音频信号进行压缩扩展处理<br>所谓瞬时压缩扩展就是根据各个瞬时的信号振幅进行压缩扩展,所谓准瞬时压缩扩展就是在某一个范围内对信号振幅进行压缩扩展 |
| 自适应 PCM        | 它就是 APCM。音频信号的振幅和频率分布随时间的变化是比较缓慢的,但就整体而言其幅度是大幅变化的,根据邻近信号的性质使量化阶梯高度改变的编码就是 APCM                                                                 |
| 自适应差分 PCM      | 它就是 ADPCM。这种方式就是将自适应型量化阶梯高度引入差分 PCM,也就是不将信号直接量化,而是将它和预测值的差进行适应量化                                                                               |
| 子带自适应差分 PCM    | 它就是 SB—ADPCM。声音信号的子带编码是在声音信号本身范围进行的高效率声音编码方式,但它需要同其他高效率编码方式配合才能有效地工作<br>在子带自适应差分 PCM 编码方式中,将 7kHz 带宽的声音信号分割成高频段和低频段两个子波段,再分别用自适应 PCM 方式进行编码    |

★15. 2. 4 A/D 转换器

A/D 变换器就是模/数变换器, A/D 变换器也可称为 ADC (Analogue-Digital Converter)。



重要提示

A/D 变换器是实现模拟信号数字化的具体电路, 它主要包括采样保持电路和编码器 (编码器电路具有量化和编码功能)。

1. A/D 变换器特性

A/D 变换器除转换速度和转换时间外, A/D 变换器的特性均以输出信号输入信号的状态来表示, 这一特性表示了 A/D 变换器输出与输入之间的关系, 即输入模拟信号, 输出编码后的数字信号。

2. 逐次比较式 A/D 变换器

逐次比较式 A/D 变换器是音响设备中常用的 A/D 变换器, 如图 15-11 所示是这种 A/D 变换器方框图。从图中可看出, 这一电路主要由 D/A 变换器、移位寄存器、锁存器和模拟比较器等组成。

1) D/A 变换器作用。D/A 变换器的作用是产生与各位的位权相对应的输出电压, 注意这一输出电压是一个模拟量, D/A 变换器就是将数字信号转换成模拟信号的电路。

D/A 变换器的工作原理是这样: 若 D/A 变换器的 MSB (最高位) 输入端输入的是数字信号 1, 则 D/A 变换器的输出模拟电压是  $U$ 。

当第二位 2SB 端输入的数字信号是 1 的话, D/A 变换器输出的模拟电压是  $1/2U$ 。

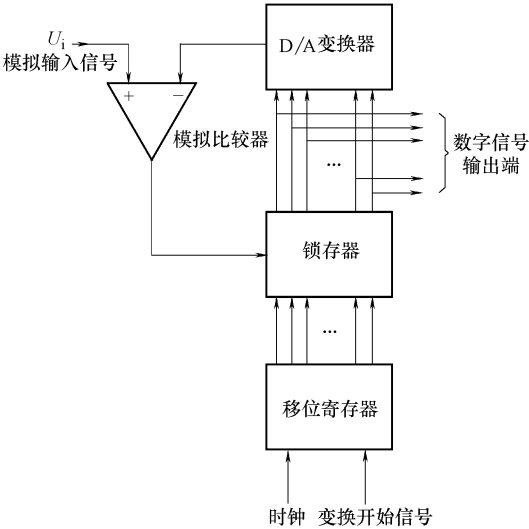


图 15-11 逐次比较式 A/D 变换器



当第三位 3SB 端输入的数字输入信号是 1 的话, D/A 变换器输出的模拟电压是  $1/4U$ , 以此类推。如果有两个输入端或两个以上输入端都是输入 1 的话, 则 D/A 变换器输出的模拟电压是各输出电压之和。

例如, 2SB 端和 3SB 端都是输入 1 的情况, 则此时 D/A 变换器输出的模拟电压是  $1/2U + 1/4U = 3/4U$ 。

2) A/D 变换器工作原理分析。输入的模拟信号  $U_i$  加到模拟比较器的同相输入端, 由于时钟脉冲使移位寄存器开始工作, 将 D/A 变换器的第一位 MSB 输入端置 1, 这时 D/A 变换器输出的模拟电压为  $U$ , 它加到了模拟比较器的反相输入端, 与输入信号  $U_i$  进行比较, 由于 D/A 变换器的输出电压  $U$  大于输入信号  $U_i$ , 如图 15-12 所示, 所以模拟比较器输出高电平, 使锁存器锁定了 D/A 变换器的 MSB 输入端为 1。

第二个脉冲到来后, 通过移位寄存器使锁存器将 D/A 变换器的 2SB 输入端置 1, 这样 D/A 变换器的 MSB 和 2SB 两个输入端是 1, 其输出电压为  $U + 1/2U = 3/4U$ , 这一电压大于输入信号电压  $U_i$ , 使模拟比较器的反相输入端电压大于同相输入端电压, 所以模拟比较器输出低电平, 使锁存器将 D/A 变换器的输入端 2SB 置 0 (但 MSB 输入端仍然是置 1)。

第三个脉冲到来后, 使 D/A 变换器的 3SB 输入端置 1, 这时 D/A 变换器有 MSB 和 3SB 两个输入端置 1, 此时的输出电压是  $U + 1/4U$ , 这一电压小于输入信号电压  $U_i$ , 所以模拟比较器仍然输出高电平, 使锁存器将 D/A 变换器的 MSB 和 3SB 输入端锁定在置 1 状态。

同理, 脉冲不断输入时, 电路不断工作, 直至 D/A 变换器的输出电压等于输入信号电压  $U_i$ , 此时的 D/A 变换器各位上的置 1 或置 0 就是 A/D 变换器的数字输出信号。

### 3. 其他 A/D 变换器

A/D 变换器除上面介绍的逐级比较式电路外, 还有用电流型 D/A 变换器构成的逐级比较式 A/D 变换器电路、积分式 A/D 变换器电路和级联积分式 A/D 变换器电路等。

## ★15.2.5 调制

PCM 将模拟信号变成了由 1 和 0 组成的码脉冲序列, 这一码脉冲序列还不能直接用于传输或记录, 这是因为音频信号在低频时可以低到 20Hz, 甚至达到几 Hz, 若将频率这样低的信号变换成数字信号, 其数字信号 1 就可能连续很长, 成为 1111……。另外, 当出现了长时间无信号时, 数字信号将成为很多的 0 信号串。这两种长时间 1 或 0 的信号大小没有变化, 就变成了接通直流的状态, 增加了重放设备的难度。

### 重要提示

在数字重放系统中, 必须准确无误地识别数字信号 1 和 0, 一个也不能差错, 否则还原的模拟信号将产生很大的失真。为了避免发生这种现象, 通常不是直接记录 A/D 变换后的 PCM 信号 (它们是 1、0 组成的一连串脉冲序列), 而是将这些数字信号 1 和 0 去对应一种规定的波形, 这就是所谓的调制。

### 1. 调制方式种类

对脉冲码调制的方式常见有下列 5 种。

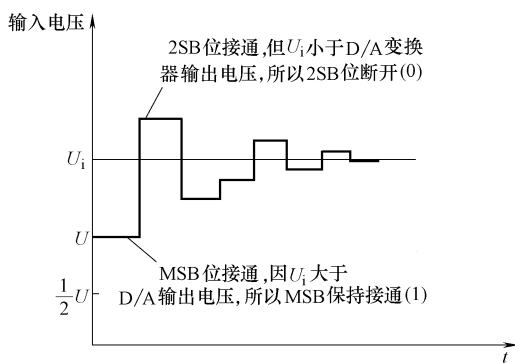


图 15-12 工作过程示意图





- 1) 不归零 (NRZ) 调制方式。
- 2) 不归零倒相 (NRZI) 调制方式。
- 3) 相位编码 (PE) 调制方式。
- 4) 改进型调 (MFM) 调制方式。
- 5) CD 格式中的 EFM 调制方式。

2. 不归零 (NRZ) 调制方式

NRZ 是 Non Return to Zero 的缩写，意为不归零。如图 15-13 所示是不归零调制方式的波形示意图，这是一种最简单的调制方式。从图中可看出，这种调制方式中用两种不同的电平分别表示二进制数码 0 和 1，0 用低电平表示，1 用高电平表示。

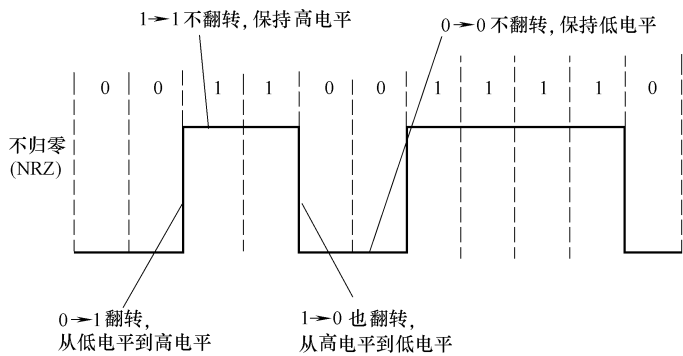


图 15-13 不归零调制方式波形示意图

这种调制方式有下列特点：

- 1) 在 0→0 时保持低电平不变，无论有多少个 0 都是保持低电平不变。
- 2) 在 1→1 时保持高电平不变，无论有多少个 1 都是保持高电平不变。
- 3) 在 0→1 时从低电平翻转到高电平。
- 4) 在 1→0 时从高电平翻转到低电平。

3. 不归零倒相 (NRZI) 调制方式

NRZI 是 Non Return to Zero Inverted 的缩写，意为不归零倒相，如图 15-14 所示是不归零倒相调制方式的波形示意图，关于这种调制方式主要说明下列几点：

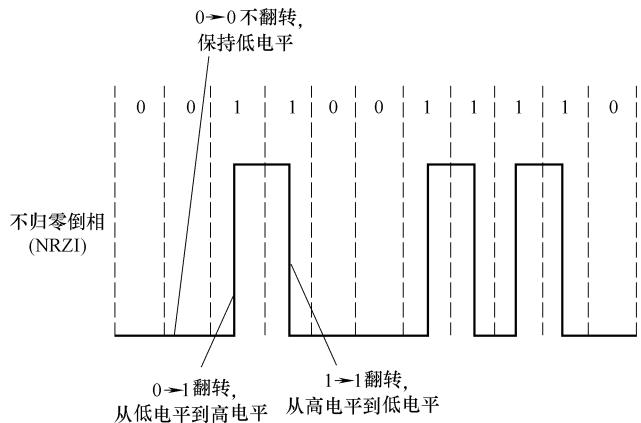


图 15-14 不归零倒相调制方式波形示意图

- 1) 遇到数字 0 时电平值保持不变，即 0→0 时保持低电平不变。
- 2) 每当出现数字为 1 时，脉冲要翻转一次，具体的翻转情况有两种：如果原来为低电平时翻



转成高电平，即 0→1 时从低电平翻转到高电平。如果原来为高电平地翻转成低电平，1→1 时从高电平翻转到低电平。

通过上述两点说明可知，这种调制方式的主要作用就是识别数字 1，因为只有出现数字信号 1 时电平才翻转。

4. 相位编码（PE）调制方式

PE 是 Phase Encoding 的缩写，意为相位编码，如图 15-15 所示是相位编码调制方式的波形示意图，这种方式容易提取位同步用的信号。关于这种调制方式主要说明下列几点：

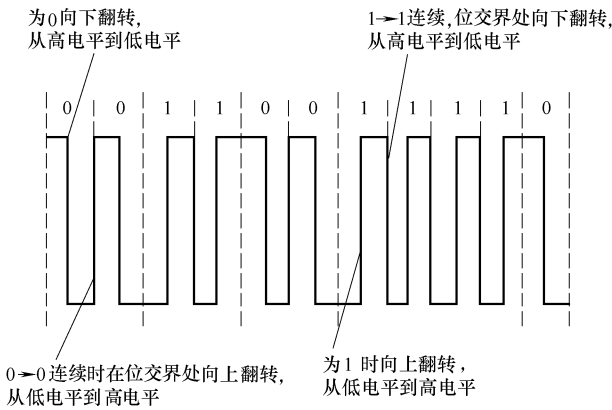


图 15-15 相位编码调制方式波形示意图

1) 脉冲的翻转位置有两种情况，一是在位交界处脉冲出现翻转，二是在位 1/2 位处出现翻转。当出现 0→0 或 1→1 连续情况时，脉冲就在位交界处翻转，在交界处翻转后若是 0 或是 1，脉冲都要在 0 位或 1 位内的 1/2 位处再次出现翻转，这种再次翻转后出现的 0→1 或 1→0，脉冲电平均保持不变。

- 2) 当数字为 0 时，脉冲在 1/2 位处向下翻转，即从高电平翻转成低电平。
- 3) 当数字为 1 时，脉冲在 1/2 位处向上翻转，即从低电平翻转成高电平。
- 4) 当数字为 0→0 连续时，脉冲在交界处向上从低电平翻转到高电平。
- 5) 当数字为 1→1 连续时，脉冲在交界处向下从高电平翻转到低电平。

从上述可知，脉冲翻转间隔为 1 ~ 1/2 位，由于每一位最少翻转一次，故不会含有直流成分。

5. 改进型调频（MFM）调制方式

MFM 是 Modified Frequency Modulation 的缩写，意为改进型调频，如图 15-16 所示是改进型调频

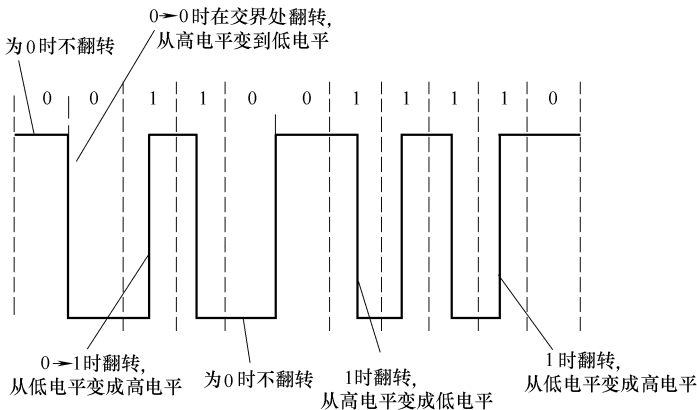


图 15-16 改进型调频调制方式波形示意图



调制方式的波形示意图,关于这种调制方式主要说明下列几点:

- 1) 这种调制方式的脉冲有两种翻转位置。其一,出现 $0 \rightarrow 0$ 时,在其位交界处从高电平到低电平的翻转。其二,在其他情况下的脉冲翻转都出现在位的 $1/2$ 位处。
- 2) 当数字信号为0时,电平不翻转,即进入0位时若原是低电平就保持低电平,若原是高电平就保持高电平。
- 3) 当连续出现数字信号0时,在位交界处翻转。
- 4) 当数字信号为1时,电平翻转,如果原来是低电平就翻转成高电平,如果原来是高电平就翻转成低电平。

#### 6. 8—14 (EFM) 调制方式

EFM是英文Eight to Fourteen Modulation的缩写,意为8—14调制,这是一种将8位数据转换成14位数据的调制方式,在CD格式中就是采用的这种专门的调制方式,这种调制方式是由索尼公司和飞利浦公司共同提出的。



#### 采样保持、量化、编码和调制小结

关于采样保持、量化、编码和调制主要说明下列几点:

- 1) 音频模拟信号进行数字式记录和传送过程中,首先要对信号进行两步处理:其一是将音频模拟信号进行PCM处理,其二是对PCM信号进行调制处理。模拟信号进行PCM处理后已经是数字音频信号,再进行调制处理是在数字信号范畴内的信号处理,这一调制处理的目的是避免出现长时间的数字信号1或数字信号0,这两种情况对数字式音频设备的要求很高。
- 2) 对模拟信号的PCM处理过程主要是这样几步,即采样保持、量化和编码三步。采用就是随时间连续变化的模拟信号大小(振幅),按一定的时间间隔采集样值,采样保持的结果将模拟信号形成了时间上不连续的脉冲序列。所谓量化就是取有限个数值近似地表示某一连续变化信号的过程称为量化,量化过程中采取了四舍五入的原则,这里出现的误差就是量化误差,也就是量化噪声。编码就是将量化值用二进制数码取代之,编码后的数字信号形式是一连串连续的1、0数码组成的脉冲序列。
- 3) 编码后得到的脉冲序列称为PCM信号,这一信号中的脉冲具有等幅和等宽的特点。在各种数字音频重放设备中,如CD,各种格式光盘上的音频数字信号都是以PCM信号出现的,所以PCM信号是各种格式音频数字节目的最基本数字信号。
- 4) 模拟信号只经过PCM处理和调制还是不能记录在光盘上或进行传送,这是因为在记录或传送过程中会出现信号失落现象(即某部分数字失去),这一问题的结果将导致重放时信号严重出错,所以对PCM信号还要进行误码纠错处理之后才行进行调制,然后再记录在光盘或进行传送。

## 15.3

### 视频信号数字化基础知识

#### ★15.3.1 视频信号数字化概述

##### 1. 视频信号数字化的两种方式

在对视频信号进行数字化时,有全信号数字化和分量数字化两种基本方式。

- 1) 全信号数字化方式。对彩色全电视信号直接进行数字化,称为全信号数字化方式,这种方式应用较少。
- 2) 分量数字化方式。对彩色全电视信号中的亮度信号(Y)、红色差信号(R—Y)和蓝色差

信号 (B—Y) 先分别进行数字化, 然后利用时分复用制 (通过一定方式将这三个分别数字化的信号复合起来) 进行的处理, 这种方式称之为分量数字化。

分量数字化由于省去了电视信号的反复解码和编码, 亮度信号和色差信号都分开处理, 相互间不存在干扰, 对提高图像质量有利, 特别是它能够将 625 行制和 525 行制两种电视制式统一起来, 所以目前普遍采用分量数字化。

## 2. 采样结构

基本的电视制式有两种: 一是 525/60 制 (NTSC 制, 525 行/场频 60Hz), 二是 625/50 制 (PAL 制, 625 行/场频 50Hz)。无论是哪种制式, 电视屏幕上一幅完整的图像都是按照隔行扫描的形式进行的, 电视的扫描有水平扫描, 又有垂直扫描。对它们采样时就产生了取样点的分布问题, 因采样而构成图像上的样点排列方式称为采样结构。

音频信号数字化没有采样结构的问题, 因为音频信号在时间上是连续的, 只要按一定时间间隔采样就行了, 对采样点的分布没有其他要求。



### 重要提示

视频信号的采样结构有两种: 一是移动型, 二是固定型。

1) 移动型。如图 15-17 所示是移动型采样结构示意图, 图中的实线为奇数场扫描, 虚线为偶数场扫描。圆圈表示第 1 帧扫描采样点, 其中圈圆 1 表示第 1 帧第 1 场扫描的采样点, 圈圆 2 表示第 1 帧第 2 场扫描的采样点, 方框表示第 2 帧扫描的采样点, 其中方框图 3 表示第 2 帧第 1 场 (即第 3 场) 扫描的采样点, 方框图表示第 2 帧的第 2 场 (即第 4 场) 扫描的采样点。

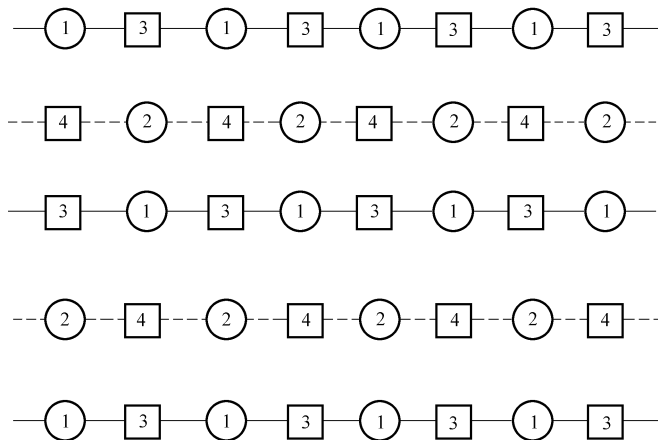


图 15-17 移动型采样结构示意图

从图中可看出, 在第 2 帧中, 第 2 场的扫描采样点与第 1 场的扫描采样偏移了半个采样距离。第 2 帧第 1 场 (即第 3 场) 扫描采样点与第 1 帧第 1 场扫描采样点也是偏移了半个样点距离。第 2 帧第 2 场 (即第 4 场) 的扫描采样点与第 2 帧第 1 场 (第 3 场) 采样点也相差半个采样点距离。

第 3 帧第 1 场 (即第 5 场) 的扫描采样点与第 1 帧第 1 场 (即第 1 场) 的扫描采样点重合。由此可见, 在这种移动型采样结构中, 每隔 4 场 (即 2 帧) 采样点重合一次, 即重复周期为 4 场或 2 帧。

主观评价和实验测试表明, 移动型采样结构的图像质量不好, 而且给数字处理电路增加了复杂性, 目前很少采用。

2) 固定型。如图 15-18 所示是固定型采样结构示意图, 从图中可看出, 在这种采样结构中每一场中的采样点都重合, 而且都对齐。在帧存储器中由于前后帧的采样点都精确地处于相同的空间位置上, 这样可大大地简化特技重放和降噪等数字处理电路的复杂性。为了获得这种采样结构, 就

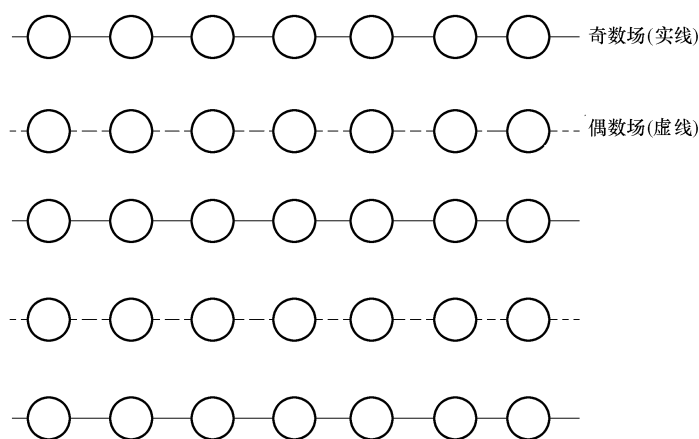


图 15-18 固定型采样结构示意图

要求采样频率必须是行频的整数倍。

### 3. 亮度信号采样频率

在数字音频系统中，对音频信号的采样频率是固定的，相对视频信号的采样频率而言则显得比较简单。在数字视频系统中，对全电视信号的采样频率的确定既要考虑亮度信号，又要考虑到色差信号，而且还要受其他因素的限制，所以视频信号的采样频率显得比较复杂，对亮度信号和色差信号的采样频率是不同的。

对视频信号中的亮度信号采样频率有诸多的具体要求，说明如下：

1) 采样频率与被采样亮度信号的频带宽度有关，按照香农采样定理，对亮度信号的采样频率至少应为亮度信号上限频率的 2.2 倍。

为了获得满意的图像质量，对 PAL 制 625 行扫描制要求亮度信号的频带宽度是 5.8 ~ 6MHz，对 NTSC 制 525 行扫描制要求亮度信号的频带宽度是 5.6MHz。

2) 为了在采样后能够保证只有足够小的混叠噪声，要求采样频率是亮度信号带宽的 2.2 ~ 2.7 倍。对 PAL 制亮度信号而言，采样频率不低于 12.72 ~ 13.2MHz，为了留有余量，应大于 13.2MHz。

3) 为了获得正交采样结构，采样频率又必须是行频的整数倍，以利于行间、场间和帧间的信号处理。

4) 为了能使 625 行/50 场和 525 行/60 场两种扫描制式之间实现兼容性，应采用统一的采样频率，625 行制的行频 15625Hz，525 行制的行频为 15734Hz，二者的最小公倍数为 2.25MHz。

综合上述考虑，将亮度信号采样频率定为 13.5MHz。

### 4. 色差信号采样频率

主观的测试表明，为了能够获得满意的彩色图像，色差信号 R-Y 和 B-Y 的频带宽度应有 2MHz。同时，为了降低混叠噪声，考虑到采样频率应为行扫描频率的整数倍及两种基本制式的兼容性要求，将色差信号的采样频率定为 6.75MHz，这一频率正好是 PAL 制行频的 432 倍，也恰好是 NTSC 制行频的 429 倍，正好又是亮度信号采样频率一半，这样形成了如图 15-19 所示的色差信号采样结构。

图中，圆为亮度信号的采样点，× 为色差

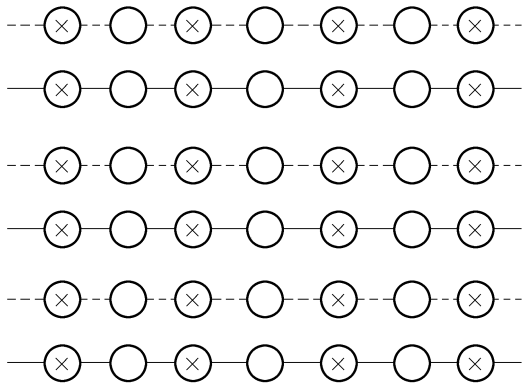


图 15-19 色差信号的采样结构示意图

信号的采样点。从图中可见, 色差信号的采样点只有亮度信号的半, 并与亮度信号的奇数采样点位置重合。

### 5. 量化位数

视频信号数字化之后的信噪比与量化位数有密切关系, 如果被量化的信号是单极性视频信号, 则信噪比可由下式计算:

$$\text{信噪比} = 6N + 10.8 \text{ dB}$$

式中,  $N$  为量化位数。

如果将视频信号的信噪比定为大于 50dB, 量化位数应不少于 7 位, 量化的位数越高, 其信号的信噪比越高。当量化位数每增加 1 位时, 信噪比则可以提高 6dB。但是, 量化位数的增加使电路的复杂性和设备的成本也会大大提高。所以在采用量化位数时, 只要够用并留有余量就行了。

#### 重要提示

从量化噪声和量化失真两个方面考虑, 特别是考虑到由于反复量化会产生量化噪声积累而使图像质量下降这一因素, 对电视信号采用 8 位量化数是较为合理的。这样, 经一次量化处理后, 其信噪比可达 59dB。

### 6. 码电平

所谓码电平是指对应于模拟信号电平的量化级电平。若对亮度信号进行 8 位均匀量化, 便可获得 256 个量化级, 即码电平从 0 ~ 255, 用二进制表示为 00000000 ~ 11111111。由于电路工作的不稳定性、陡峭的前置滤波器和孔阑校正电路造成的过冲, 以及钳位过程中的过渡过程等, 亮度信号很可能超过这一动态范围而产生过载性限幅。

#### 重要提示

两个色差信号与亮度信号不一样, 它们以 0 电平为中心上下分布, 中心 0 电平对应的量化级数在 256 的 1/2 处, 即为 128, 用二进制表示为 10000000。另外, 为了对称, 上下保护带各留 16 个量化级, 即两个色差信号共占用 224 级, 即从 16 ~ 240, 对应的二进制为 00010000 ~ 11110000。

### 7. 传输速率

数字信号的传输码率直接影响了数字信号的处理和信息存取的速度, 在传输中决定了信道的容量和决定了对数字器件的速度要求。

在分量数字化中, 亮度信号的采样频率是 13.5MHz, 色差信号的采样频是亮度信号采样频率的半, 即为 6.75MHz, 量化数  $N=8$  比特, 这样数字视频信号的码率由下列公列计算:

$$\text{码率} = 13.5 \text{ MHz} \times 8 \text{ bit} + (6.75 \text{ MHz} \times 8 \text{ bit}) \times 2 = 216 \text{ Mbit/s}.$$

#### 重要提示

前面介绍的数字音频信号的码率为 1.4Mbit/s, 可见数字视频信号的码度要比数字音频信号的码率高出许多, 这就要求对数字视频系统中的存储器、模—数转换器等数字器件的速度要求就更高。

### 8. 数字行概念

所谓数字行就是数字化后的一行信号。在分量数字化中的每一个数字行, 采样点数的计算方法是用采样频率除以行频。

1) PAL 制每行采样点数。PAL 制每行采样点数的计算如下:

$$\text{PAL 制每行采样点数} = 13.5 \times 10^6 / 15625 = 864$$

式中,  $13.5 \times 10^6 \text{ Hz}$  是分量数字化中的亮度信号采样频率。

15625Hz 是 PAL 制中的行频。

2) NTSC 制每行采样点数。NTSC 制每行采样点数的计算如下:





$$\text{NTSC 制每行采样点数} = 13.5 \times 10^6 / 15734 = 858$$

式中， $13.5 \times 10^6\text{Hz}$  是分量数字化中的亮度信号采样频率。

15734Hz 是 NTSC 制中的行频。

3) 数字行与模拟行之间关系。数字行与模拟行之间的对应关系如图 15-20 所示，这是 PAL 制的示意图。通常把一行中表示图像的部分称为有效行，把行同步头的前沿称为一行的起点 OH。

从图中可以看出，在 PAL 制中，起点 OH 到有效行开始处的采样点数是 132，有效数字行共 720 个采样点，即从采样点 133 开始到 852 结束，有效行的结束点到下一行的起始处的采样点数为 12。

对于 NTSC 制而言，为了便于制式的转换，其有效行的采样点也是为 720 个，只是起点 OH 到有效行开始处的采样点数是 122，有效行结束点到下一行的起始处的采样点数为 16。

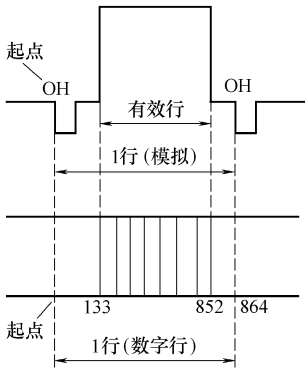


图 15-20 数字行与模拟行之间对应关系示意图



重要提示

PAL 制和 NTSC 制的色差信号采样点为亮度信号采样点数的一半，即为 360 个，这是因为色差信号的采样频率为亮度信号采样频率的一半。

9. 电视信号数字化标准

如表 15-5 所示是电视信号数字化主标准，称为 4:2:2 标准，所谓 4:2:2 就是  $Y:R-Y:B-Y = 13.5\text{MHz}:6.75\text{MHz}:6.75\text{MHz} = 4:2:2$ 。这一标准由 CCIR 于 1982 年 2 月定为国际标准。

表 15-5 电视信号数字化主标准

| 参数名称               | PAL 制(625/50)                                  | NTSC 制 525/60 制 |
|--------------------|------------------------------------------------|-----------------|
| 编码信号               | $Y, (R-Y), (B-Y)$                              |                 |
| 全行采样点:             |                                                |                 |
| 亮度信号               | 864                                            | 858             |
| 每个色差信号             | 432                                            | 429             |
| 采样结构               | 正交,行场和帧重复,B-Y 和 R-Y 的样点同位,并和每行第奇数个亮度信号(Y)采样点同位 |                 |
| 采样频率:              |                                                |                 |
| 亮度信号               | 13.5MHz                                        |                 |
| 每个色差信号             | 6.75MHz                                        |                 |
| 编码方式               | 都采用每样点 8 位的均匀量化 PCM                            |                 |
| 每数字有效行样点数:         |                                                |                 |
| 亮度信号               | 720                                            |                 |
| 每个色差信号             | 360                                            |                 |
| 视频信号电平与量化级之间的对应关系: |                                                |                 |
| 亮度信号               | 共 220 个量化级,黑电平对应第 16 级,峰值白电平对应第 235 级          |                 |
| 每个色差信号             | 共 224 个量化级,零信号对应 0~255 量化级的中心,即第 128 级         |                 |

★15.3.2 频带压缩编码

1. 频带压缩原因

在上面介绍的 4:2:2 是根据电视演播室图像质量的要求而定的，其水平清晰度可达 480 线。



DVD 就是采用的 4:2:2 标准，所以它的图像质量能够达到电视演播室的标准。

除 4:2:2 标准外还有 2:1:1 低标准，所谓 2:1:1 就是将亮度信号和色差信号的采样频率都降低一倍，即  $6.75\text{MHz}:3.375\text{MHz}:3.375\text{MHz} = 2:1:1$ 。这种从高标准转换成低标准将采样点数降低一倍，称为数字信号抽去。如果从低标准转换到高标准时，将采样点数增加一位，这称为数字信号内插。VCD 采用的是 2:1:1 低标准，所以它的图像水平清晰度只有 240 线。如表 15-6 所示是 2:1:1 标准。

表 15-6 2:1:1 标准

| 参数名称              | PAL 制    | NTSC 制 |
|-------------------|----------|--------|
| 全行样点数:            |          |        |
| 亮度信号(Y)           | 432      | 429    |
| 每个色差信号(R-Y)、(B-Y) | 216      | 215    |
| 取样频率:             |          |        |
| 亮度信号              | 6.75MHz  |        |
| 每个色差信号            | 3.375MHz |        |
| 数字有效行样点数:         |          |        |
| 亮度信号              | 360      |        |
| 每个色差信号            | 180      |        |

如果按照 2:1:1 低标准编码的电视数字信号，其传输码率也高达 108Mbit/s，所要求的带宽达 100MHz。这将给数字视频信号的存贮、记录、重放和传输的硬件提出了很高要求，为此要进行在不明显降低图像质量的情况下降低码率，采用频带压缩编码技术（又称为码率压缩）可达到这一目的。



重要提示

频带压缩编码的基本方法有三种：

- 1) 同步信号去除。
- 2) 亚奈奎斯特采样。
- 3) 高效编码。

2. 同步信号去除

由电视信号组成可知，在行和场逆程期间是不携带图像信息的，可以将行和场逆程期间的同步信号去除，而只传送光栅可见部分的采样点。换句话讲，就是只对有效行进行数字化处理，处理完以后再嵌上行同步信号。通过这种同步信号去除方法可以减少 17% 的码率，在电视画中画处理中就采用了这一方法。

3. 亚奈奎斯特采样

电视信号采样频率为 13.5MHz，这一频率是视频信号带宽 6MHz 的 2.25 倍，称为标准奈奎斯特采样。若高于此频率采样，则称为超奈奎斯特采样。若是低于此频率采样，则称为亚奈奎斯特采样。

采用奈奎斯特采样可以降低码率。在进行亚奈奎斯特采样时，虽然因采样频率降低而使信号频谱产生折叠，但由于信号的功率谱集中在行频及其各次谐波附近，也就是呈梳状分布，若将采样频率取为半行频的奇数倍，就可以使折叠谱的下边带与基带形成半行频交错，最后用具有相应频率响应的滤波器滤波，就可以恢复原信号，所用的滤波器由低通滤波器和梳状滤波器组合而成。



重要提示

在混叠区间采用梳状滤波可以克服混叠干扰，但是其负作用是损失了基带频谱中位于行频高次谐波分量之间的高次场频分量，它对应图像中的某些细节部分，因此在高质量应用中不采用这一降低码率的办法。



#### 4. 高效编码

所谓高效编码就是利用人的视觉特性和电视信号的统计特性来减少码率的编码方法。前面数字音频中的高效编码是利用人的听觉特性，数字视频中则用人的视觉特性。



##### 重要提示

由于视觉特性方面存在着时间错觉和空间错觉，人眼在观察景物时有这样几个规律：

- 1) 静止物体比移动物体的视觉感受要高。
- 2) 慢速移动的物体比快速移动的物体视觉感受要高。
- 3) 对画面边缘位置的视觉感应速度快，而对画面边缘尺寸的感应速度要慢。
- 4) 对倾斜物体不论是水平方面或垂直方面，感觉都不敏感。

1) 人的视觉特性两特点。通过对人视觉特性的研究发现，人的视觉主要有两个显著特点：

① 视觉检测有个门限值，对低于该门限值的误差不会被察觉。如果在视觉门限值较小的部分，将采样频率或量化位数取得高一些，而在视觉门限值较大的部分取得低一些，则在图像质量不降低的情况下，可降低码率。

② 该门限值是随图像的内容变化而变化的。对帧间变化快的图像，可适当降低采样频率，此时帧内图像的水平垂直分辨力虽有所下降但不会被察觉。对帧间变化慢的静止或慢运动图像，因要求有较高的分辨力而不能降低采样频率。



##### 重要提示

利用上述特点，对静止和慢速运动的图像部分可以每两帧传送一次，而在快速运动图像部分将帧内采样频率降低一半，这在视觉上不会感觉到图像质量有下降。另外，研究表明人的视觉特性在图像的边缘（闪烁或景物突变）处存在视觉掩盖效应，图像边缘附近像素的视觉门限值比远离图像边缘像素的视觉门限值要大出好几倍，因此可在边缘处减少编码位数而不会引起视觉损伤。它们应用在自适应动态 PCM 编码中。

2) 帧间压缩编码的基本依据。电视图像的统计特性突出地表现在相邻的场间或相邻的帧间相关性上，所谓相关性就是具有十分近或相似之处。这种相关性与运动的图像有关，图像运动越快，相关性就越低。在多数情况下（图像运动速度正常和图像内容没有突变），相邻场或帧间的变化是很小的，也就是像素的相关性很强。对 NTSC 制彩色广播电视不同类型节目进行测验的结果表明，在一帧时间间隔内，亮度信号和色度信号平均也只有 7.5% 的像素有变化。这种帧间相关性是帧间压缩编码的基本依据。

3) 帧间预测编码。帧间压缩编码的典型应用是帧间预测编码，它是将前一帧的信息与当前帧的信息进行线性预测，获得差值信息，由这一差值信息组成新的帧称为预测帧。由于帧间图像存在相关性，帧内的信息量一般较低。然后采用适当的顺序来编排原信号帧和预测帧，就可以大大减少传送的码率。DVD 和 VCD、超级 VCD 就应用这种帧间压缩编码技术来降低码率的。

#### ★15.3.3 离散余弦变换 (DCT)

离散余弦变换就是 DCT 编码，DCT 是英文 Discrete Cosine Transform 的缩写，这是一种变换区域编码。语音和图像信号在各个不同时刻的采样值具有相关性，虽然对相关信号的处理比较复杂，但从压缩角度上讲，正好可以利用采样值的相关性来提高压缩比。

变换区域编码通常是将时间域描述的信号（如语音信号）或空间域中描述的信号（如图像信号），变换到另外的正交矢量空间（即变换区）中进行描述，并使变换区中描述的各信号分量之间相关性很小或互不相关。在几何正交变换方法中 DCT 变换是实数区域的变换，很适合语音和图像

信号的特点,所以在电视信号数据压缩编码技术中得到充分利用。

DCT 变换是一种傅里叶变换,因为任何连续对称的实数函数经傅里叶变换后就只含有余弦项了。在进行 DCT 变换时,先将整幅图像横向切成若干片,每片再纵向切成若干宏块,每个宏块再纵横切成几个块,每一块最后分成  $8 \times 8 = 64$  像素,然后对 64 个像素逐一进行 DCT 变换。电视图像是二维的信号,所以使用二维 DCT 变换。

对图像数字信号采用 DCT 变换后,就为成一种按二维频率高低分布的系数坐标图,经过量化后大部分高频分量的系数变为零,再用之字形读数法读出这 64 个系数,使数字串中零的分布集中在一起,这样就为游程长度编码创造了条件。

这里的游程长度就是零的个数。经游程长度编码后,需要传送的码率就大大地得到了缩减。这种压缩码率的办法被广泛用于 DVD、VCD、超级 VCD 等图像信号的数字处理中。



#### 重要提示

关于视频信号数字化原理这里小结下列几点:

1) 在学习数字化视频信号处理电路工作原理时,首先要了解模拟视频信号的一些特点和参数,对数字视频信号的一些技术术语要了解其含义,掌握一些最基本的概念。

2) 彩色全电视信号由亮度信号、色度信号、色同步信号和复合同步信号 4 部分组成,要了解这 4 种信号的作用和具体含义。

3) 常见的电视制式有两种:一是 PAL 制,这是我国所采用的电视制式,它为 625 行、50 场。二是 NTSC 制,许多影视光盘都采用这种制式,它是 525 行、60 场。

4) 目前主要采用的是分量数字化方式,它的特点是对亮度信号和两个色差信号分别进行数字化,然后再采用时分复用制将已经数字化的亮度和色差信号编排成一个码流。在采样结构上,目前主要采用的是固定型,它的特点是亮度和色差信号的采样点固定,且色差信号的采样点只有亮度信号的一半,并与亮度信号的奇数采样点位置重合。

5) 视频信号中的亮度信号和色差信号都是采用 8 位量化。所谓数字行就是数字化后的一行信号。所谓 4:2:2 就是  $Y:R-Y:B-Y = 13.5\text{MHz}:6.75\text{MHz}:6.75\text{MHz} = 4:2:2$ ,这一标准是电视信号数字化的主标准,比它低一级的是 2:1:1 标准,即将亮度信号和色差信号的采样频率都降低一半。

6) 视频信号的编码同音频信号的编码一样,也需要进行高效率编码。视频信号高效编码是利用人的视觉特性和电视信号的统计特性来减少码率的编码方法,人的视觉特性方面存在着时间错觉和空间错觉,利用这些特性可实现高效率的视频信号编码。

## 15.4 MPEG1 和 MPEG2 概述

### ★15.4.1 概述

MPEG 是英文 Moving Picture Experts Group 的缩写,意为“运动图像专家小组”意思。这一小组于 1988 年 5 月由国际标准组织 ISO 和国际电工委员会 IEC 出面组织,为制定活动图像及其伴音的压缩标准进行工作,所制订的标准为国际通用标准,习惯上称此标准为 MPEG 标准。

#### 1. MPEG 标准的三个组成部分

MPEG 标准目前主要由视频、音频和系统三大部分组成。

1) 视频部分。MPEG 标准中的视频部分是最主要的,因为 MPEG 标准主要针对的是活动图像。

2) 音频部分。活动图像必有伴音相随,对图像的伴音进行处理是按照 MPEG/音频标准进行的。

3) 系统部分。对于多媒体而言,在需要单媒体编码标准的同时,也需要有关控制单媒体组合的系统化技术标准,这就是 MPEG/系统标准。



## 2. MPEG 的三个等级标准

MPEG 标准针对不同的图像质量要求又分成了三级:

- 1) 初级标准 MPEG1。VCD 采用了 MPEG1 标准对图像和声音进行压缩、解码技术。
- 2) 通用标准 MPEG2。DVD 则采用了 MPEG2 标准, 另外超级 VCD 采用了 MPEG2VBR 可变码率解压技术。
- 3) 高清晰度电视标准 MPEG3。

## 3. MPEG 的基本方法

MPEG 是各种技巧和处理算法的最佳有机结合, 是目前最为有效的活动图像处理和压缩方法。MPEG 的最终目标是将视频和音频信息同步, 并最终将视频和音频信息联合成单一数据流, 并将此数据流的速率降至 1.5Mbit/s。

MPEG 的基本方法是这样: 在单位时间内先采集并保存第一帧图像的信息, 在对单帧图像进行有效压缩处理的基础上, 只存储其余帧图像中相对第一帧图像所产生的变化部分, 即它们之间的差(不同部分)信息, 以达到压缩之目的。MPEG 的压缩包括了时间和空间两个方面的内容。

1) 时间上的压缩。MPEG 视频压缩算法是用减少时间冗余量的方法实现的。例如, 当一幅图像发生变化时, 只需要传送差别部分的信息, 而不要传送整帧的图像。较好的算法可在每 2~3 帧画面间作一次比较运算, 较差的算法是在每 12~30 帧画面间才作一次比较运算。

2) 空间上的压缩。在一帧画面内, 有许多重复或相同的部分, 例如存在大量同样的色彩和亮度的色素, 空间上的压缩就是利用数据块中相邻像素间或一帧内数个相邻块间的高度相关性, 省略掉冗余信息。由于这种压缩是发生在一帧内的, 所以称为帧压缩。

## 4. MPEG1

运动图像专家小组通过对 17 个厂家提出的 14 套视频和音频编码方案比较、研究, 于 1992 所 11 月成为标准号为 ISO11172 号的国际标准, 这就是 MPEG1 标准, 即连续动态画面图像及伴音编码、压缩和传输的规格标准。

这一标准适用于数据码率小于 1.5Mbit/s 的应用领域。一般说来, 无失真的压缩算法只能提供 2 倍左右的平均压缩率, MPEG1 是高压缩率标准, 所以它是采用有失真的压缩编码算法, 经过 MPEG1 编码和解压之后, 重放图像与原来图像之间存在失真, 但在视频领域这种失真不会被人眼觉察, 所以 MPEG1 可以在视频领域被接受。

MPEG1 标准是基于离散余弦变换算法, 运用帧内模式和帧间模式两种编码模式, 再有运动补偿的双向预测方法, 提供 25~200 倍的压缩率, 其平均压缩率为 100 倍左右。

MPEG1 标准适合于普通电视信号的压缩, 可以将活动图像的数据用量压缩到只有本来的 1/25~1/200, 这使得一张 12mm 的 VCD 光碟能够记录 74min 的活动图像、相关的立体声伴音和其他有关信息。

为了不损失编码图像的临场感, 音频也采用了高效率编码, 这就是 MPEG1/音频标准, 根据音频信号采用的不同算法, MPEG1/音频标准标准又分为三层, 即 1 层、2 层和 3 层。

MPEG1/系统标准主要是以存储媒体的应用对象制定的标准。



### 重要提示

完整的 MPEG1 共有 5 部分组成, 一是 MPEG1 系统: ISO/IEC11172—1, 二是 MPEG1 视频: ISO/IEC11172—2, 三是 MPEG1 音频: ISO/IEC11172—3, 四是 MPEG1 Performance: ISO/IEC 11172—4, 五是 MPEG1 关于软件的技术报告: ISO/IEC11172—5。其中, 前三项是常用的。

## 5. MPEG2

MPEG1 是初级标准, MPEG2 是通用的活动图像编码标准, 它是根据广播电视图像质量的要求制定的, 其传输码率为 MPEG1 的 4 倍, 约为 5Mbit/s。MPEG2 和 MPEG1 具有正向兼容性。



MPEG2 也有音频标准, 即 MPEG2/音频标准, 它是在 MPEG1/音频标准的基础上, 扩展到多通道/多种语言和采用低采样频率进行信息压缩而产生的新标准, MPEG2 音频算法和 MPEG1 音频算法具有兼容性。

### 重要提示

MPEG2/系统标准主要是以视频和音频的广泛应用对象制定的标准, 也就是作为 MPEG1/系统的超级装置制定的标准。MPEG2/系统标准由两种方式构成: 一是称为 MPEG2 节目源 (MPEG2/PS), 它和 MPEG1/系统类似, 带有向前兼容性, 即可兼容 MPEG1 标准, PS 由单一的节目构成。二是一种称为 MPEG2 传输流 (MPEG2/TS), TS 在广播应用中可适应多节目编排, 并可实现多功能。

## 6. MPEG3 和 MPEG4

1) MPEG3。MPEG3 的设计目标为大画面模式, 是作为高清晰度电视 (HDTV) 的标准, 由于 MPEG2 的不断延伸和扩展, 使得 MPEG3 应用极少。

2) MPEG4。MPEG4 属于很低比特率的声音—图像编码标准, 它利用极窄的带宽、重建帧方式传送图, 通过语言和图像的合成, 利用分数几何、计算机显示和人工智能等技术, 力求以最少的数据量建立最为清晰和精确的图像。MPEG4 又称为低位速率压缩技术。

## ★15.4.2 MPEG1 的图像格式

### 1. 图像分割

活动画面是分割成一帧一帧后记录和传送的。为了对图像进行数字化处理, 必须对每帧图像进行再分割, 其分割方法如图 15-21 所示。第一步是将一帧图像横向分割成若干条, 将分割下的条称为一片。然后, 对每一片再在纵向分割成若干个宏块, 或称为大块。在 MPEG1 标准中, 大块是对图像处理的基本单元, 但不是最小单元。

1) 宏块。为了处理信号的方便, 每一个宏块中的彩色图像信号共分成了三种: 一个亮度信号 Y 和两个色差信号 R—Y 和 B—R 表示, 它们统称为宏块, 其中有一个亮度宏块, 两个色差信号宏块, 即 B—Y 色差信号宏块 5 和 R—Y 色差信号宏块 6。

2) 块。对于亮度信号而言, 由于它的采样频率比两个色差信号的采样频率高一倍, 以获得更高的清晰度, 所以对每一个宏块再分成 4 份, 即图中的 1、2、3 和 4。由此可见, 块比宏块为更小一级的单位。注意, 块这一单位只对亮度信号而言才有, 对两个色差信号是没有块的概念的。

3) 像素。像素的大小决定了图像的清晰度, 像素越小, 图像越清晰。对于亮度信号和两个色差信号而言, 它们的像素大小是不同的, 见图中所示。

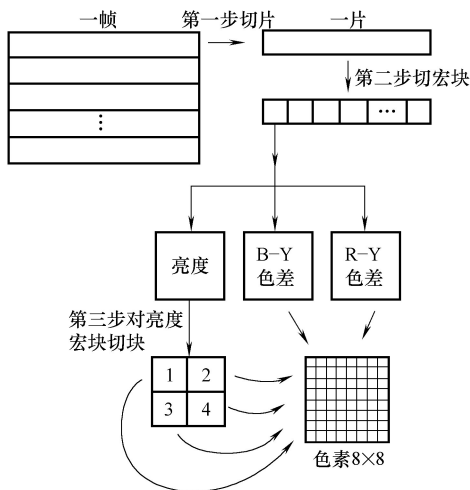


图 15-21 图像分割示意图

### 重要提示

对亮度信号而言, 每一个块由  $8 \times 8$  个像素组成, 对于亮度宏块而言就是有  $8 \times 8 \times 4 = 256$  个像素。

对于两个色差信号而言, 由于它们没有块, 最小单位是宏块, 每个色差信号宏块由  $8 \times 8 = 64$  个像素组成。由此可见, 两个色差信号的每一个像素要比亮度信号像素大, 大 4 倍。

4) 每个像素的比特数。无论是亮度信号的像素还是两个色差信号的像素, 它们都是用 8 比特数字表示。每个采样点的亮度可获得  $2^8 = 256$  个等级, 用这样高的准确度等级来表示亮度信号已经





足够了。

2. MPEG1 图像格式参数

如表 15-7 所示是 MPEG1 图像格式参数。

表 15-7 MPEG1 图像格式参数

|                    |                          |                     |
|--------------------|--------------------------|---------------------|
| 电视制式               | PAL 制                    | NTSC 制              |
| 行频/Hz              | 15625                    | 15734. 266          |
| 采样频率/MHz           | Y:7. 75;B—Y 和 R—Y:3. 375 |                     |
| 每行亮度采样点/(点/行)      | 432                      | 429                 |
| 亮度有效区像素            | 352 像素/行<br>288 行/帧      | 352 像素/行<br>240 行/帧 |
| 色度有效区像素            | 176 像素/行<br>144 行/帧      | 176 像素/行<br>120 行/帧 |
| 像素传送率              | 3. 8016Mbit/s            |                     |
| 码率(每像素 8bit)       | 30. 4128Mbit/s           |                     |
| 码率 4Mbit/s 时压缩比    | 7. 6                     |                     |
| 码率 1. 2Mbit/s 时压缩比 | 25. 34                   |                     |

对 PAL 制而言，表中亮度 288 行的行与电视扫描行的行两者之间不相等，这里的行是像素在图像垂直方向的分布数，在一帧画面上它占电视扫描行两行的宽度。对于两个色差信号而言，它的一行是占电视扫描行四行的宽度。

根据表 15-7 的参数，对于 PAL 制而言，每帧图像切成 18 片，每片再切成 22 个宏块，即每一帧图像被分成  $18 \times 22 = 396$  个宏块。

对于 NTSC 制而言，每帧图像切成 15 片，每片再切成 22 个宏块，即每一帧图像被分成  $15 \times 22 = 330$  个宏块。

无论是 PAL 制还是 NTSC 制，对亮度信号而言，每一个宏块还要分成四个块。对于色差信号而言，宏块就等于块。

3. 分割和传送顺序

在 MPEG1 标准中，对一帧图像的分割是这样：一帧图像→分割成片→分割成宏块→分割成块（指亮度信号）→分割成最小的单元像素。

在 MPEG1 标准中，宏块在量化编码中的传送顺序是这样：见图 15-21，亮度宏块中的 1 块→2 块→3 块→4 块→B—Y 色差信号宏块→R—Y 色差信号宏块→下一个亮度信号 1 块→……，这样不断传送下去。

4. 3 种帧的概念

在电视技术中，图像信号是一场一场根据时间次序整幅整幅传送的，在 MPEG1 中采用的是一种特殊的方法，即将所要传送的帧图像重定义为 3 种帧图像，这就是 3 帧的概念。这 3 帧中，一个是 I 帧图像，一个 P 帧图像，另一个是 B 帧图像。

1) I 帧图像。I 是英文 Intracoded Frame 的缩写，意为帧内编码帧。I 帧内的图像信号为全帧编码传输。

2) P 帧图像。P 是英文 Forward Predictive Coded Frame 的缩写，意为前向预测编码帧。P 帧只传输在它前面的 I 帧的差值信息，这一差值是运动图像的变化部分，称为预测误差。P 帧是在前面的 I 帧基础上获得的，如图 15-22 中的第一种情况所示。如果 P 帧的前面不是 I 帧而是 P 帧，此时可以由前面的 P 帧获得预测误差，图 15-22 中的第二种情况所示。

3) B 帧图像。B 是英文 Bidirectionally Predicted Interpolative Coded Frame 的缩写，意为双向预测内插编码帧。B 帧是根据它前面的 I 帧或是 P 帧和它后面的 P 帧来获得预测误差，如图 15-23 所示。

由于这种预测误差是通过前面和后面的帧获取的，所以称为双向预测。在 I 帧和 P 帧之间或两个 P 帧之间一般可插两个 B 帧。这种传送双向预测误差的方法是 MPEG1 的特点。

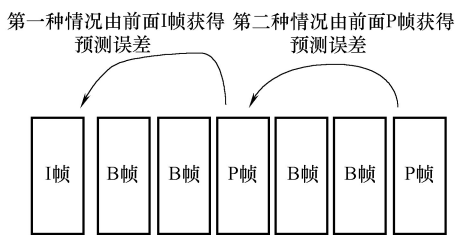


图 15-22 P 帧获取示意图

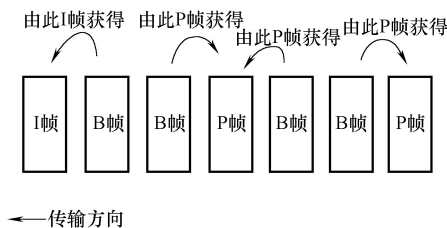


图 15-23 B 帧获取示意图

### 5. 帧组概念

为了能使图像编辑和及时编辑，将每 5 帧或 6 帧作为一组，这称为帧组，即一个帧组是由 5 帧或 6 帧组成的，用 GOP（Group Of Pictures）表示帧组。每一帧组的时间是 0.2s，这样每隔 0.2s 能产生一个图像进出的编辑点。

对于 PAL 制而言，每个帧组有 5 帧，这 5 帧分别依次是 I 帧、B 帧、P 帧、B 帧和 P 帧。对于 NTSC 制而言，每个帧组中有 6 帧，这 6 帧分别依次是 I 帧、B 帧、B 帧、P 帧、B 帧和 P 帧。

帧组还有一个特点，即 I 帧前面为 P 帧，不为 B 帧，这样每一个帧组便具有独立性，不需要帧外的 I 帧就能解码出帧组内全部的帧。

### 6. 数据结构

MPEG1 的图像数据是以比特流的形式传送的。比特流中的图像数据是按一定顺序排列的，这称为句法排列。这种排列共分成 6 个层，它们依次为第一层块，第二层宏块，第三层片，第四层图像，第五层图像组，第六组序列，这 6 层表示出了比特流中的数据结构，也可以看出 MPEG1 标准中对视频信号处理的层次及相互关系。如表 15-8 所示是 6 层功能。

表 15-8 6 层功能

| 序号 | 层   | 功 能         |
|----|-----|-------------|
| 1  | 块   | DCT 处理单元    |
| 2  | 宏块  | 运动补偿和运动估计单元 |
| 3  | 片   | 同步恢复单元      |
| 4  | 图像  | 基本编码单元      |
| 5  | 图像组 | 视频的随机存取单元   |
| 6  | 序列  | 节目内容随机存取单元  |

1) 第一层是块（Block）。这是编码的第一步，它由  $8 \times 8 = 64$  个亮度信号成分和两个色差信号成分构成的，在编码中它是 DCT（离散余弦变换）处理单元。

2) 第二层是宏块（Macro Block）。它是由 16 像素  $\times$  16 行的亮度信号成分和在图像空间位置对应的两个 8 像素  $\times$  8 行的色差信号成分构成。一个宏块由 4 个亮度信号块和一个 B—Y 色差信号块、一个 R—Y 色差信号块组成，这是进行运动补偿和运动估计的单元。

3) 第三层是片（Slice）。它是图像从左到右完整的一条图像，也是若干个宏块的集合。片与片之间不能有重叠或有间隙。最初的片必须从图像最初的宏块开始，最后片的必须到图像最后的宏块结束。在信号处理中，片是同步恢复单元。

4) 第四层是图像（Picture）。它是由若干片组成的一幅完整图像，这种图像可以是内部编码图像（I 图像），也可以是预测编码图像（P 图像）。它是构成活动图像的基本单元，在信号处理中也是基本编码单元。

5) 第五层是图像组（GOP）。它由几幅编码图像组成，这一点前面已经作了说明。编码流中图像顺序必须与重放时解码器处理的顺序相同，每一组是视频的随机存取单元。

6) 第六层是序列（Sequence）。它是表现连续图像的比特流。序列从序列头开始，之后可接 1



个或数个图像组，最后用一个序列尾码结束，各个序列构成能够连续重放的图像。

### ★15.4.3 MPEG1 的音频格式

如图 15-24 所示是 MPEG1 标准的音频编码器组成框图。MPEG1 音频编码基于子带编码方式。所谓子带编码就是将输入的音频信号分割成多个频段，这就是子带，再利用不同频段信号功率的不均匀性和人耳的听觉特性，对各频段进行相对独立的编码（以减小动态范围），再根据各子带的信号能量分配比特。

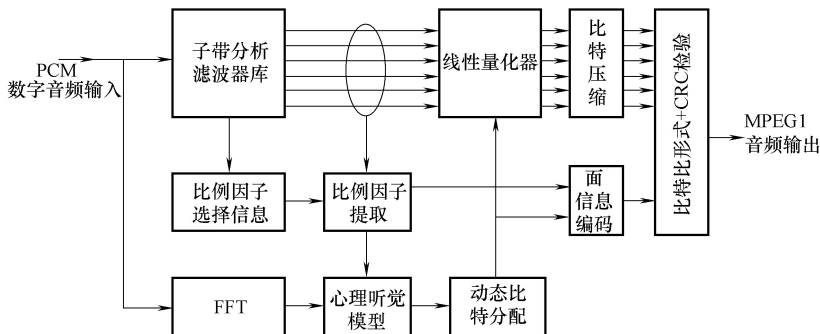


图 15-24 MPEG1 标准的音频编码器组成框图

#### 1. 正交镜像滤波器

正交镜像滤波器用 QMF 表示。MPEG1 标准的频带分割是利用多个正交镜像滤波器的多相滤波器库（PFB）实现的，它就是 MPEG1 标准中的音频编码器，其电路组成如图 15-24 所示。

#### 2. 子带分析滤波器

模拟音频信号经过 16bit 线性量化后的 PCM 数字音频信号首先输入到子带分析滤波器库中，对数字音频输入信号进行子带分析。所谓子带分析就是利用 512 抽头的多相滤波器库（PFB），将数字音频输入信号分割成 32 个频段的子带信号，这样按时域分布的输入信号就被转换成由 32 个频段构成的频域信号。

#### 3. 比例因子提取

为了识别各子带信号的电平幅度，按动态范围一致的要求来提取各子带信号的比例因子，也就是各子带信号若乘上各自的比例因子，其动态范围就能够一致，这就是说各子带的比例因子就能反映出各子带信号的电平幅度。



#### 重要提示

比例因子的计算在层 1 和层 2 格式中进行，其中层 1 格式中对 32 个频段的每一个频段进行 12 个采样，在层 2 格式中对每一个频段的采样数则是层 1 格式中的 3 倍。

#### 4. 心理听觉分析

在心理听觉分析时，首先对输入的数字音频信号进行快速的傅里叶变换（FFT），将时域信号变换成频域信号。利用 FFT 数据和比例因子便可进行心理听觉分析。

在心理听觉分析中，通过计算可得到信号掩蔽比（SMR），即在与各子带对应的频率轴范围内，提取最小值作为最小掩蔽值电平，再通过各子带的信号声压与最小掩蔽值电平之比，就能处出信号掩蔽比（SMR）。

#### 5. 比特分配

有了利用心理听觉分析算出的掩蔽比（SMR）值，使可决定各子带的比特分配了。在进行比特分配前，先要从可能利用的总比特数中扣除头、CRC 检验和辅助数据等。



比特分配中，要求算出具有最小掩蔽噪声比（MNR）的子带，通过计算还要求算出新的最小掩蔽噪声比（MNR）和求出新的可能参与分配的比特数。

6. 量化

通过上面计算和处理，就可以将得到的比特分配量对各子带信号进行量化，这一量化是在线性量化器中进行的。量化后的子带信号就可以进行比特压缩。

从上述分析可知，这里的比特压缩是建立在心理听觉分析基础上的，所以压缩的结果省去了听觉不能觉察到的音频信息，同时又保证了音质，这就是 MPEG1 音频压缩处理的内含。

7. 比特流的形成

经过压缩后的子带数据汇同面信息编码器输出的辅助信息一起在比特流形成器中被格式化，在这一格式化过程中还要加入循环冗余检验（CRC）码，形成了比特流输出，如图 15-25 所示是比特流形成示意图。图中层 1 和层 2 的比特流形成基本相同，只是层 2 格式在比特分配信息后多了一个比例因子选择信息。



图 15-25 MPEG1 音频比特流形成示意图

★15.4.4 MPEG1 系统格式

前面分别介绍了 MPEG1 的视频和音频比特流形成过程，视频和音频编码器的输出都是比特流形式出现的，将它们记录在光盘上时还必须依靠 MPEG1 系统格式，将这两个比特流按统一的标准编排成单一的码流才行。MPEG1 系统格式编排时采用的是时分复用方式。

1. 按包的时分多工方式

按包的时分多工方式又称为时分复用方式。所谓按包的时分多工方式就是将音频比特流和视频比特流按一定的长度分割成一段一段的，然后在每一段的前部加上称之为包头的附加信息，这样就形成了一个包。包头信息中具有解码、重放时需要的包头的起始码和其他信息。此外，为了进行纠错，在包的后部还加上循环冗余检验（CRC）码。

对于音频比特流分割形成了音频包，对于视频比特流分割形成了视频包。有了一个个的音频包和视频包之后，将视频包和音频包按时分方式交替排列，如图 15-26 所示，这就形成了复用流，为单一的码流，便能进行光盘刻录了。

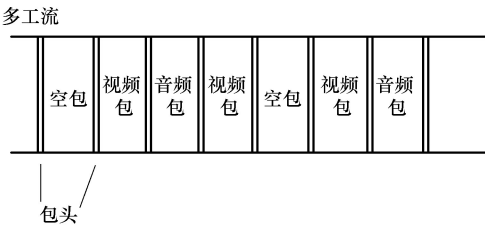


图 15-26 时分复用方式示意图

2. AV 同步方式

AV 中 A 是音频，V 是视频。在 MPEG1 系统格式中采用 AV 同步方式编排复用流，这一方式由基准时刻和参照时刻的解码、重放处理定时控制构成。

由前面介绍可知，视频信号经过 MPEG1 视频编码器后，转换成 3 帧数字视频信号，在时间轴上它们的传送顺序是 I 帧→P 帧→B 帧→B 帧→P 帧→B 帧→I 帧→……，每一个帧称为视频帧。然后，通过 MPEG1 系统格式的同步方式按视频帧的长度进行分割，构成一个一个视频包，包头标记用 TV 表示。

对信号音频信号而言，音频信号经过 MPEG1 音频编码器后转换成数字音频比特流。然后，通过 MPEG1 系统格式的同步方式将它们分割成一个个音频存取单元，用 AUU 表示。为了将 AUU 与视频帧相对应，将它们称为音频帧，一个音频帧就是一个音频包，包头用 TA 表示。



重要提示

MPEG1 在传送视频和音频信号时，在时间轴上是采用的交替传送的方式，也只有采用这种方式才能将多路信号编排成一路后进行传送，这就是所谓的时分复用方式。

重放时，为了准确识别和解调出一个个视频包和音频包，必须依靠系统时钟（SCR）和节日时钟基准（PCR）。

1) 系统时钟（SCR）。SCR 在 MPEG1 用 5 个字节传送，在 MPEG2 中用 6 个字节传送。为了使 AV 同步控制充分，要求解码器的时钟与编码器的时钟相同。

2) 再现时间标记（RTS）。所谓 RTS 就是附在各个视频包和音频包上的为解码重放处理用的时间标签，其作用是用于重放输出的时间控制信息。

3) 解码时间标记（DTS）。由前面介绍可，编码时 I 帧和 P 帧图像在 B 帧图像的前面，在重放它的解码时刻和再现输出时刻就发生的差异，为了准确地恢复它们的顺序，在代表 I 帧和 P 帧图像的包头加上 DTS，使其解码时刻和再现输出时刻相同。

3. MPEG1 系统数据结构

MPEG1 系统的数据结构是按组排列的，每一组的开始处为组头，组头由 12 个字节构成，系统流结束处为终止码，由 4 个字节组成。在第 1 组的组头后有一个系统头，由 15 个字节组成。

组中一般由多个包组成，这里的包就是前面所讲的视频包和音频包。

★15.4.5 MPEG2 简介

1. 组成

MPEG2 标准共有下列三部分组成。

- 1) MPEG2 系统：ISO/IEC/IS13818—1。
- 2) MPEG2 视频：ISO/IEC/IS13818—2。
- 3) MPEG2 音频：ISO/IEC/IS13818—3。

2. MPEG2 系统

系统部分将一个或多个图像、声音及其他数据的基本码流组合成一个或多个码流，并具有 5 种功能：一是多个压缩码流解码时的同步，二是多个压缩码流解码时的交织，三是开始解码时的缓冲预置，四是缓冲器的连续控制，五是时间识别。

3. MPEG2 视频

如表 15-9 所示是 MPEG2 的图像参数（隔行扫描式）。

表 15-9 MPEG2 的图像参数（隔行扫描式）

|                  |                       |                     |
|------------------|-----------------------|---------------------|
| 电视制式             | PAL 制                 | NTSC 制              |
| 行频/Hz            | 15625                 | 15734               |
| 采样频率/MHz         | Y:13.5;B-Y 和 R-Y:6.75 |                     |
| 每行亮度采样点/(点/行)    | 864                   | 858                 |
| 亮度有效区像素          | 720 像素/行<br>576 行/帧   | 720 像素/行<br>480 行/帧 |
| 色度有效区像素          | 360 像素/行<br>288 行/帧   | 360 像素/行<br>240 行/帧 |
| 像素传送率            | 15.552Mbit/s          |                     |
| 码率(每像素 8bit)     | 124.416Mbit/s         |                     |
| 码率 15Mbit/s 时压缩比 | 8.29                  |                     |
| 码率 2Mbit/s 时压缩比  | 62.2                  |                     |

DVD 采用了上述标准的图像格式，所以 DVD 重放图像的水平清晰度比 VCD 提高了一倍。另外，超级 CVD 采用了原本用于 DVD 中的 MPEG2VBR 可变码率解压技术，图像分辨率是 VCD 的 4



倍，可与 LD 相比美，图像的垂直清晰度比 VCD 提高 2 倍，水平清晰度达到 350 线，与国内现有的 350~400 线水平清晰的彩色电视机在技术上相匹配，由于超级 VCD 采用了 MPEG2VBR 可变码率技术，消除了 VCD 中快速移动图像所有的马赛克现象，这一点从观看中可以明显地觉察到。

4. MPEG2 音频

MPEG2 音频信号编码方式为多通道格式和低采样频率格式，如表 15-10 所示是 MPEG2 音频（低采样频率编码）要求。

表 15-10 MPEG2 音频（低采样频率编码）要求

| 项 目       | 内 容                  |
|-----------|----------------------|
| 采样频率      | ≤32kHz               |
| 输入/输出信号精度 | ≥16bit 量化            |
| 互换性       | 和 MPEG1 音频有向前的互换性    |
| 误码保护      | 误码保护能力至少与 MPEG1 音频相同 |
| 附加信息      | 比特流为含有附加信息的形式        |
| 解码器输出     | 1 或 2                |

DVD 采用 MPEG2 音频标准。另外，超级 VCD 音频压缩格式分为基本和扩展两个层面，基本层面仍然采用与 VCD 相同的 MPEG1 压缩技术，但声道数增多，为双立体声，也就四声道。对于扩展层面由采用 DVD 所用的 MPEG2 技术，声道为 5.1 格式，可与 DVD 比美。



重要提示

关于 MPEG 标准主要说明下列几点：

- 1) MPEG 是由国际组织为活动图像及其伴音制定的压缩标准，它共有 MPEG1、MPEG2、MPEG3 和 MPEG4 四种，其中 MPEG1 和 MPEG2 应用最为广泛。MPEG1 主要用于 VCD，MPEG2 则主要用于 DVD 和超级 VCD。
- 2) 在 MPEG 中，主要有三大部分组成：一是视频部分，它是对视频信号进行压缩编码的标准。二是音频部分，它是对音频信号进行压缩编码的标准。三是系统部分，它是视频信息、音频信息和其他辅助信息的管理标准。
- 3) MPEG 标准主要采用了时间上的压缩和空间上的压缩，将大量相同的信息进行压缩。在对视频信息进行压缩时，主要依据是人的视觉特性和电视统计特性，对音频信息进行压缩时主要依据是人耳的听觉特性和心理分析。
- 4) 对图像的分割是为了记录信息的方便。对于亮度信号而言，先对一帧图像进行切片，然后切成宏块，再分割成块，而对两个色差信号而言，同亮度信号的分割基本一样，只是切到宏块就是不再分割下去了。

15.5 光盘简介

光盘是指 CD 盘、VCD 盘、SVCD 盘、DVD 盘和 LD 盘等，由于它们是采用光学的方式进行读与写，所以称为光盘，俗称光碟。光盘与上述几种外，还有许多，例如计算机中使用的 CD—ROM 光盘等。



重要提示

人类实用的大容量存储技术主要有这样几种：一是机械记录重放术，二是磁性记录重放技术，三是光学记录重放技术，四是光盘记录重放技术。





### ★15.5.1 机械、光学和磁性存储技术

#### 1. 机械记录和重放技术

机械记录和重放技术就是大家非常熟悉的唱片及唱机,这是人类最早的实用的大容量音频存储技术,现在这种机械式唱片已基本不用了。

#### 2. 光学记录和重放技术

光学记录和重放技术就是大家更熟悉的电影,这种存储技术不仅能够用来存储音频信号,还能够存储视频信号,最早的电影是无声电影,电影是为记录和重放视频信号而开发的。

#### 3. 磁性记录和重放技术

磁性记录和重放技术就是大家非常熟悉的磁带录音机,磁带录音机只是磁性存储技术中的一种。磁性记录的应用非常广泛,例如电脑中的软盘、硬盘、录像机中的录像带等都是磁性记录和重放技术的产品。磁性记录和重放技术不仅可以用来记录和重放音频信号,也可以用来记录和重放视频信号。

### ★15.5.2 光盘种类

目前最流行、应用最为广泛是这种存储技术,这一节主要介绍这种存储技术。

#### 1. 特点

光盘存储技术是建立在激光技术的基础上。20世纪60年代发明了激光技术,它的一个重要特性就是能够将激光束聚焦成一个极小的能量高度集中的光点,这一特性被用于光盘存储技术中。

在20世纪70年代后期,光盘存储技术走向了实用化,利用激光技术进行读写的存储技术成熟,先是出现了激光视盘(LD)系统,后是激光唱片(CD)系统,之后又出现了用于计算机中的CD-ROM(计算机中的光驱、光盘),接着又是VCD、DVD、超级VCD等一系列实用的光盘存储技术产品。



#### 重要提示

光盘存储技术与其他存储技术比较,具有下列一些明显的优点:

- 1) 记录密度高,存储容量大。如一张CD-ROM光盘的容量约为500M,而一张3.5寸软盘只有1.44M,可见存储容量之大。
- 2) 读写采用了非接触式。机械式唱片、磁性录音机都是唱针与唱片直接接触,磁带与磁头直接接触,通过直接接触才能读取或写入信号,而光盘存储技术中的光头与光盘之间不直接接触,由于没有机械性的接触,所以就没有机械性损伤,这样光头、光盘的使用寿命得到大大延长,理论上讲这种非接触的读写对光头和光盘不存在任何损伤。
- 3) 这种存储方式的数据传输率高,可随机取样,能快速检索。
- 4) 操作方便。这是指更换光盘的操作比较方便。光盘的成本较低,光盘易于长时间保存。

#### 2. 光盘种类

光盘根据使用特性可以分成下列几种:

- 1) 只读型光盘。这类光盘只能对其读出信息,不能对这类光盘再次写入信息。只读型光盘的应用最为广泛,如CD光盘、VCD光盘等都属于这类光盘。
- 2) 可读可写型光盘(CRV)。CRV是英文Component Recording Video Disc的缩写。这类光盘不仅能够进行读取信息的操作,而且还可对这类光盘进行写入操作。这类光盘由于与之配套的机器价格较贵,所以目前应用还不是很广泛的,但有理由相信这类光盘会很快广泛应用起来。



#### 重要提示

可读可写型光盘主要有磁光型(MO)和相变型(PD)两类。前者通过激光加热效应,使光盘材料的矫顽力为零,并改变电磁场方向,实现光盘上信号的擦除与写入。后者也是通过激光加热效应,使光盘材料的晶体发生晶态—非晶态变化,从而实现光盘上信号的擦与写。

3) 一次写入多次读出型光盘。这类光盘有 WORM 类和 CD—R 类。前者可以是磁光型,也可以是相变型,通常可重写型的驱动器兼容可读写的 WORM 型光盘。后者用户利用 CD—R 刻录机可自行写成 CD、CD—ROM、VCD 等格式的光盘,目前这类光盘的价格在直线下降,所以应用已越来越多了。

4) DVD 光盘。

### 3. 只读型光盘

只读型光盘的种类很多,CD (即 CD—DA)、VCD、LD 光盘将在后面专门介绍,下面简单介绍其他一些只读型光盘。

1) CD—ROM 光盘。CD—ROM 光盘是目前热点之一,由于家用计算机价格的大幅度下降和多媒体的热潮,使这种光盘的应用越来越广泛。在计算机中使用的光盘就是这种称之为 CD—ROM 的光盘,用来播放 CD—ROM 光盘的驱动称为 CD—ROM 光驱。当然,计算机上的光驱通过适当的软件支持,也可以用来播放 CD、CD—I 和 VCD 等光盘,如果计算机的光盘换成 DVD 光驱,还可以播放 DVD 光盘,这种应用已经开始,有充分的理由相信不久将大规模地开始普及应用。

早期的 CD—ROM 光盘主要用存储文字、程序软件,随着多媒体技术的蓬勃发展,现在 CD—ROM 光盘可以用来存储音乐、静止和活动图像等。

2) CD—I 光盘。这种光盘可以由 CD—I 交互式光盘播放机播放,它是荷兰飞利浦公司发明的,其特点是人机交互性强,这种播放机本身带有 CPU、操作系统和内存等硬件。

CD—I 光盘又称为全动态电影,具有音频和视频存储功能,也有专门的解压缩编码,一般称为绿皮书。

3) CD—G 光盘。CD—G 是英文 Compact Disc Graphics 的缩写。CD—G 光盘又称之卡拉 OK 光盘。CD—G 光盘可由称之为 CD—G 播放机的机器来播放。

CD—G 光盘上存储有音乐信号,还有数字方式的静止画面的视频信号,这种光盘能在播放音乐的同时,还可以通过电视机显示出与音乐配合的静止画面。

4) CD—V 光盘。这种光盘可以用 CD—V 播放机来播放,这种光盘上存储有音乐和一小段动态图像信号,与 CD—G 不同之处是图像是活动的。

CDV 光盘称为密纹声像唱片,又称为激光影碟或电视唱片,VDC 是英文 Compact Disc With Video 的缩写。

CDV 光盘可存储音乐和活动图像信号,光盘表面为黄色,有金属光泽。这种光盘的直径有下列三种:

① 300mm 光盘,合为 12in。这种直径的光碟每面上记录有 1h 的带数字音频信号的模拟视频信号。

② 200mm 光盘,合为 8in。这种直径的光碟每面上记录有 20min 的带数字音频信号的模拟视频信号。

③ 120mm 光盘,合为 5in。这种直径的光碟上记录有 20min 的数字音频信号和 5 分钟的带数字音频信号的模拟视频信号。

5) Photo-CD 光盘。它是由柯达公司和飞利浦公司联合开发的,专门用来存储数字化的 35mm 照片,一张 Photo-CD 光盘可以分成数次写入共 100 张左右的照片。Photo-CD 光盘上的数字化照片可以任意放大、缩小和剪辑等处理,这种光盘也可以在 CD—ROM 光驱中播放,可以用 VCD、CD—I 播放机来播放。

6) MD 光盘。MD 光盘为微型光盘,或称为迷你光盘,MD 是英文 Mini Disc 的缩写。MD 光盘及其与之配套的光盘机是日本索尼公司发明的,这种光盘的直径只有 64mm,约 2.5in。

MD 光盘是用来存储音乐信号的光盘,它有两种:一是只读型光盘,相当于 CD 光盘。二是可读可写型光盘,它能够在这种可写型 MD 光盘上进行音乐信号的写入和重放,相当于一个录音设备。

### 4. CD 系列光盘

CD 光盘有一个系列,它们的直径均为 120mm,厚度是 1.2mm,但用途和标准不同,如表 15-11 所示是 CD 系列光盘。



表 15-11 CD 系列光盘

| CD 系列光盘           | 用 途         | 企业标准 | 发表的公司       |
|-------------------|-------------|------|-------------|
| CD (CD—DA)        | 激光数字音频      | 红皮书  | 飞利浦、索尼      |
| CD—ROM (CD—ROMXA) | CD 只读存储器    | 黄皮书  | 飞利浦、索尼      |
| CD—I              | 对话式 CD      | 绿皮书  | 飞利浦、索尼      |
| CD—WO             | 一次写入、多次读 CD | 蓝皮书  | 飞利浦、索尼      |
| CD—R              | 可录式 CD      | 橙皮书  | 飞利浦、索尼      |
| Photo—CD          | 照片式 CD      | 棕皮书  | 飞利浦、柯达      |
| ViDeo—CD (VCD)    | 活动图像 CD     | 白皮书  | 飞利浦、索尼胜利、松下 |
| CD—MO             | 可录磁光盘       | 待定   | 富士通等七家公司    |

★15.5.3 光驱

如图 15-27 所示是光驱实物图。光驱就是光盘驱动器，也称光盘机、光碟机。根据所用光盘是只读型还是读/写的，光驱有只读型的光驱和读/写型的光驱。

光驱的组成和各部分作用介绍如下。

1. 光头

光头分只读型的光头和读/写型的光头，它的作用相当于磁带录音机中的放音磁头或录放磁头，用来读取光盘上的记录信息，或将信息写入光盘上。在后面章节中将详细介绍只读型的光头。

2. 控制系统

控制系统是整个光驱工作的指挥系统，通常它是一个微控制器系统，用来指挥和协调光驱各部分的工作。

3. 机械系统

机械系统主要是完成光盘各种要求，如旋转、光盘的装载和卸载动作，该系统主要有装载机构、转盘机构等。

4. 伺服系统

伺服系统也是一个关键的系统，光盘在高速旋转中激光束要始终跟踪光盘上的信号轨迹，这要靠伺服系统来保证。

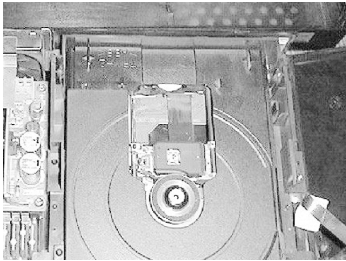


图 15-27 光驱实物图

15.6 CD 光盘

CD 光盘和 CD 唱机大家非常熟悉，CD 的又称为 CD—DA，意为激光唱片—数字音频（数字式激光音频唱片），CD—DA 是英文 Compact Disc-DigitalAudio 的缩写。

**重要提示**

CD 光盘属于只读式光盘，单面工作，光洁如镜的一面（没有文字这一面）是工作面，播放时工作面朝下。CD 光盘存储数字式的音频信号。

★15.6.1 光盘结构

1. 盘基

CD 光盘的衬底采用聚碳酸酯透明塑料制成圆盘（片基），在片基上面蒸上铝层作为反射膜（反射铝层），再上面是保护层，在保护层上面贴有商标，如图 15-28 所示是 CD 光盘的盘基结构示意图。

从图中可看出，整个 CD 光盘分成几层，最上面贴有商标，接着是保护层，由于保护层的存



在，光盘的最上面贴商标或划伤是不影响光盘正常播放的。在保护层的下面是反射铝层，这也是信息层面，是不能受到划伤等损坏的。最下面是透明的聚碳酸酯塑料层，CD 光盘在播放时，由于激光束要透过这一层面，所以该层面是不能划伤的，使用中要保护的就是这一光亮的层面。

2. 激光束路途

在 CD 光盘播放时，光亮面朝下，也就是贴有商标的一面朝上。光头在 CD 光盘的下面朝上发出激光束，激光束首先穿过透明的塑料层，投射到反射层上，反射层面不是平整的，这样激光束投到不同处（岛或坑，这里岛或坑就代表了所记录的数字音频信息），激光束会产生反射或散射，反射时激光束会再次回穿透明的塑料层面，回到光头中的光电接收器中，散射则回射的激光能量很小，利用这种回射激光束的能量变化，可以读出 CD 光盘上记录的信息。

3. 岛与坑

从上图中可看出，CD 光盘的反射层不是平整的，反射层面上有许许多多的岛和坑，将两个坑之间的间隔称为岛，CD 光盘存储的数字音频信息就在这些岛与坑的间隔处，一张 CD 光盘中共有 2 万个岛和坑。

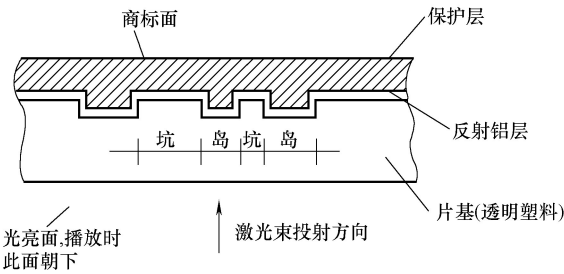


图 15-28 CD 光盘的盘基结构示意图

★15.6.2 光盘信息分布

如图 15-29 所示 CD 光盘信息分布示意图。CD 光盘的直径为 120mm，约合为 5in。

1. 记录信息位置分布

整个 CD 光盘的直径是 120mm，其光盘厚度是 1mm。中心孔的直径是 15mm，光盘的其他区域作用如下：

1) 夹持区。在直径 26 ~ 33mm 之间区域是光盘的夹持区，即光盘进入光驱后要被有关机械机构夹住，这样光盘才有旋转运动，所夹光盘的位置就是这一区域。

2) 激光束导入区。在直径 46 ~ 50mm 之间区域是光盘的激光束导入（Lead in）纹迹区，CD 光盘在播放时，激光束首先从这一区域开始读取光盘上的记录信息，这一区域又称为 TOC 区，该区存有准备工作的目录信息。

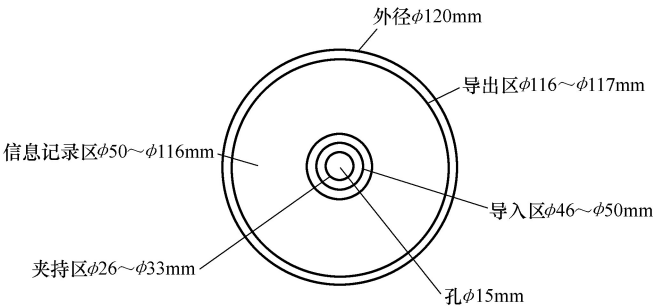


图 15-29 CD 光盘信息分布示意图



重要提示

在 TOC 区，CD 播放机先读出目录信息，要完成一系列的准备工作后才能进入正常的播放状态。这段信息的工作程序是这样：接通电源→完成初始设置→CD 加载（托盘工作）→光头组件向内圈移动→内圈检测（进给电机正向移动到停止）→自动聚焦→光盘检测→待机状态。

从上述说明中可知，播放光盘时激光束首先是从光盘的里圈进入循迹的，然后向光盘的外圈循迹。

3) 数字音频信息记录区。直径 50 ~ 116mm 之间区域是光盘的数字音频信息记录区，这一区域内记录有数字式的音频信息，共记录有约 2 万圈的音轨，最长播放时间为 74min。





4) 激光束导出区。直径 116 ~ 117mm 之间区域是激光束的导出 (Lead out) 纹迹区, 当一张 CD 光盘播放完全部节目后, 激光束落在这一区域。导出区至少记录有 600 圈的导出信息纹。

## 2. 岛和坑分布

在数字音频记录区域内, 数字音频信息以岛和坑的形式从里圈开始向外以螺旋线状分布。如图 15-30 所示是岛、坑分布示意图, 岛和坑表示了二进制数的位, 称为通道位。每个通道位的长度为  $0.3\mu\text{m}$ , 其岛、坑长度不是都相同的, 共有 9 种长度规格, 它们都是  $0.3\mu\text{m}$  的倍数:  $0.9\mu\text{m}$ 、 $1.2\mu\text{m}$ 、 $1.5\mu\text{m}$ 、 $1.8\mu\text{m}$ 、 $2.1\mu\text{m}$ 、 $2.4\mu\text{m}$ 、 $2.7\mu\text{m}$ 、 $3.0\mu\text{m}$ 、 $3.3\mu\text{m}$ 。两圈纹迹之间的间隔为  $1.6\mu\text{m}$ 。

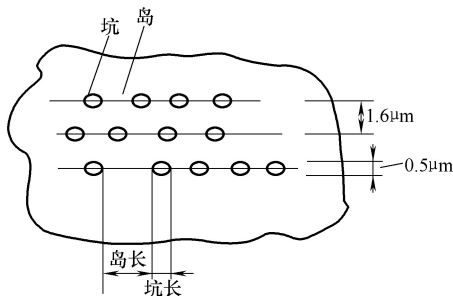


图 15-30 CD 光盘上的岛、坑分布示意图

## ★15.6.3 信息的拾取

CD 光盘上存储的数字音频信息通过激光拾音头 (简称光头) 才能将其读出, 这一读出的过程是一个非常精密的激光束循迹 (扫描岛、坑) 过程。

### 1. 光盘旋转

CD 光盘插入光驱后, 光盘由驱动机构带动而旋转, 光盘旋转的角速度时时刻刻在改变, 这是因为光头的激光束循迹是以恒定的线速度进行的, 而岛和坑信息是从里圈开始向外以螺旋线状分布的, 为了实现恒线速循迹, 就必须使光盘旋转角速度时时刻刻在变化。



### 重要提示

由于光盘上的数字音频信息 (岛、坑) 从里圈开始向外以螺旋线状分布, 激光束在里圈时循迹时要求光盘的旋转速度快些, 当激光束循迹到外圈时, 要求光盘的旋转速度慢一些, 这样才能保证光头激光束循迹的线速度不变。

当激光束循迹在光盘最里圈时, 光盘的旋转速约为  $500\text{r/min}$ 。当激光束循迹在光盘最外圈时, 光盘的旋转速约为  $200\text{r/min}$ 。

光盘的旋转方向是这样: 从工作面看 (即洁如镜的一面看), 光盘以逆时针方向恒线速度旋转。光盘旋转速度的时刻变化是由专门的伺服系统来控制, 以保证激光束能够确定地对信息坑、岛进行跟踪和循迹。

光头激光束的循迹线速度为  $1.2 \sim 1.4\text{m/s}$ 。CD 光盘在播放时, 光盘在旋转, 光头作径向运动 (即光头从里圈向外圈运动, 实际上光头还要作其他一些微小的伺服调整运动)。

### 2. 信息拾取

记录在 CD 光盘上的信号不是模拟信号, 而是经过编码后的数字信号, 即 1 和 0 两种状态。从前面 CD 光盘的盘基结构可知, 它的信息层面是采用能够反射激光的铝膜, 这一层铝膜对激光具有强烈的反射能力。但是, 在铝膜上有许多坑和岛, 激光投射到岛上或坑里, 激光束的反射情况是不同的。

当激光束照射在光盘的坑里时, 因只存在激光的散射, 所以激光束反射回到激光拾音器光电检测器中的光能较弱, 使光头中的光电检测器输出低电平, 如图 15-31 所示。

当激光束照射在岛时, 激光束反射光能很强, 这一反射光使激光拾音器输出高电平。这样, 通过激光束照射位置不同所产生的反射光能量不同, 便能得到 CD 光盘上所记录的岛、坑情况。

上图中输出的信号波形还不能说就是数字音频信号, 只是已经包含了数字音频信息。从图中可看出, 这是一个矩形脉冲信号波形, 在岛处对应于脉冲的高电平, 岛越长对应的高电平时间就长。在坑处对应于脉冲的低电平, 坑越长对应的低电平时间就长。

其实,数字音频信息只包含在电平跃变处,如图 15-32 所示可以进一步说明这一点,图中矩形信号波形是激光头输出的从 CD 光盘上的检出信号,从图中可看出,只在矩形波形的突变处才是数字信号 1,无论是脉冲从高水平突变到低电平,还是从低电平突变到高水平,在突变处才是 1。在高水平保持时间内,或在低电平保持时间内都是数字信号 0。

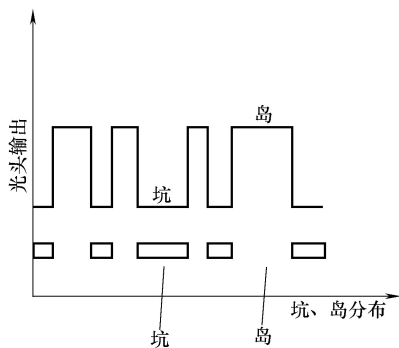


图 15-31 光电检测器输出电流与岛、坑位置之间关系示意图

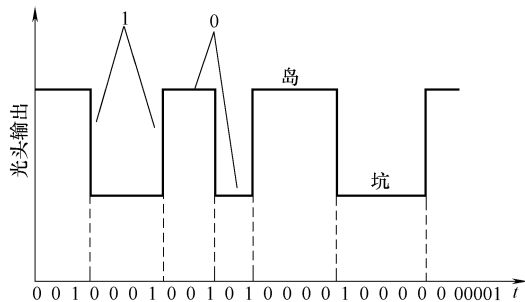


图 15-32 光头输出信号输出波形与数字信号之间关系

从图中还可以看出,当高水平持续时间越长或低电平持续时间越长时,数字信号 0 的个数也就越多,从这一点上也可看出,为什么会有不同长度的岛和坑,这是记录数字信号的需要。



#### 重要提示

CD 光盘上除记录有数字音频信号外,还设有若干副轨,用来存放乐曲号码、控制信号(如同步信号)、播放时间等附加信息,这些信号使得 CD 机更容易实现一些自动控制功能。

### ★15.6.4 EFM 码与 CD 光盘岛坑关系和数据位流

#### 1. EFM 码与 CD 光盘岛坑关系

如图 15-33 所示说明了 CD 光盘上记录的 EFM 码与 CD 光盘岛坑之间的关系。图 15-33a 所示是原始的 PCM 数据,为 8 位。图 15-33b 所示是经过 EFM 处理后的 14 位数据。图 15-33c 所示是再加 3 位连接码后的数据。图 15-33d 所示是对 CD 光盘进行记录时的示意图。

从图 15-33d 所示中可看出,CD 光盘上的岛、坑变化是根据数字信号中的 1 进行的,当出现数字信号 1 时,CD 光盘上或是从岛变成了坑,或是从坑变成了岛,在数字信号为 0 时不变化。

在 CD 光盘重放时,通过激光头将 CD 光盘上这些岛、坑的变化,转换成图 15-33c 所示的数字信号,即激光头在岛与坑的突变处才输出数字信号 1,而在坑处或岛处,光头都是输出数字信号 0。

#### 2. 数字位流

如图 15-34 所示是 CD—DA 编码器输出的数据信流示意图。从图中可以看出,首先是同步字(为 24bit),然后是 3bit 的连接码,接着就是 F3 帧经 EFM 变换的数据字,这三部分的部分共为

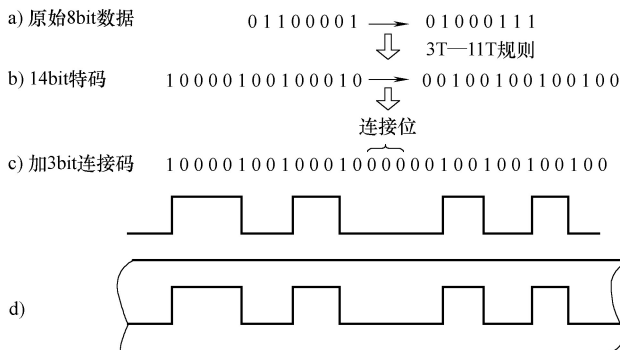


图 15-33 EFM 码与 CD 光盘岛坑关系





588bit。在 F3 帧中,首先是 14bit 的子码,然后是 12 个字的左声道 (L) 音频数据,之后是 4 个字 Q 校验字,接着就是 12 个字的右声道 (R) 音频数据,最后是 4 个字的 P 校验字。

### ★15.6.5 性能参数

CD 光盘的性能参数包括光盘参数、信号格式和音频参数三个部分。

#### 1. 光盘参数

- 1) 外径 120mm。
- 2) 孔径 15mm。
- 3) 厚度 1.2mm。
- 4) 信号面外径 116mm。
- 5) 信号面内径 50mm。
- 6) 启动程序为内周。
- 7) 旋转方向为逆时针方向。
- 8) 旋转速度为 1.2 ~ 1.4m/s。
- 9) 音轨距离为 1.6 $\mu$ m。
- 10) 光盘基材为聚碳酸酯。

#### 2. 信号格式

- 1) 采样频率为 44.1kHz。
- 2) 量化位数是 16 位线性。
- 3) 调制方式是 EFM。
- 4) 纠错方式是 CIRC。
- 5) 加重为  $T_1 = 50\mu\text{s}$ ,  $T_2 = 15\mu\text{s}$ 。
- 6) 传输码率为 2.03Mbit/s。
- 7) 冗余度约 30%。

#### 3. 音频参数

- 1) 通道数为 2 (左、右声道)。
- 2) 频率响应为 20 ~ 20000Hz。
- 3) 信噪比为大于 90dB。
- 4) 动态范围为大于 90dB。
- 5) 分离度大于 90dB。
- 6) 失真度小于 0.05%。
- 7) 抖动为晶体精度。
- 8) 单面最大播放时间为 74min。

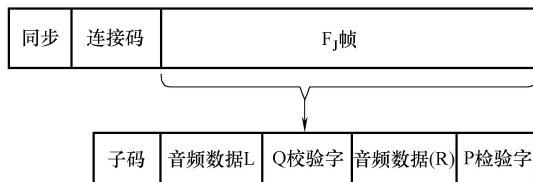


图 15-34 数字位流示意图



#### 重要提示

关于 CD 光盘要说明下列几点:

- 1) 在各种光盘中,CD 光盘是一种最基本的光盘,其他光盘的许多物理特性等与 CD 光盘一样,只是信息的记录格式不同。
- 2) 各种光盘都是有一个工作面,这一面不能被有划伤等损坏,否则就影响光盘的正常播放,严重时就无法播放。光盘的工作就是贴有标签的背面,也就是光洁如镜的一面。
- 3) 在播放光盘时,激光头的激光束从工作面的下部投射向工作面,激光束从光盘的里圈向外圈循迹,一般情况下当光盘有损伤时,播放外圈的信息比播放里圈信息更容易出错。换句话讲,就是在激光束循迹到外圈信息轨迹时,对播放机的伺服要求更高。
- 4) 光盘上的记录信息是以称为岛和坑的形式存在的,岛和坑有不同的长度 (共有 9 种规格),

它们的长度实际上表示了光盘上数字信号 0 的个数，越长就代表 0 的个数越多。当激光束循迹到岛与坑的突变处时（无论是从坑到岛，还是从岛到坑），激光头就能输出数字信号 1，在其他任何情况下激光头都是输出数字信号 0，这一点要记住。

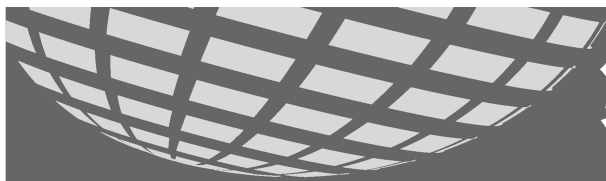
5) 要记住，激光头从 CD 光盘上所拾取的信号是 EFM 信号，要了解这一 EFM 信号是怎样来的，这就要了解模拟音频信号的采样、量化、编码和调制等过程，对这一过程十分了解后有助于分析 CD 播放机数字信号处理和解码电路的工作原理。

◆ ..... ◆  
阅读完成时间：\_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日，用时\_\_\_\_天。

签 名：\_\_\_\_\_

阅读体会：（请写 10 个收获最大的知识点关键词）

阅读困惑：（请写 10 个最难理解的知识点关键词）



## 第 16 章

# 微控制器及微控制器集成电路引脚外电路分析

阅读开始时间：\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

本章计划阅读用时：\_\_\_\_日。我一定能按时完成！加油！

本节阅读建议：仔细阅读，全面掌握微控制器工作原理。

本节难度系数：5 级。

本节记忆系数：8 级。

微控制器就是单片微型计算机（One Chip Microcomputer），简称单片机。这里单片的含义是这种微型计算机中只有一块主芯片（集成电路）。由于单片微型计算机的设计充分考虑了控制上的需要，它具有独有的硬件结构、指令系统和多种输入/输出能力，提供了十分有效的控制功能，所以称之为微控制器。

微控制器作为微型计算机的一个很重要的分支，应用非常广泛，发展速度也很快，现代家用电器中无不应用各种各样的微控制器，例如各类影碟机、数字调谐器、电视机、数字卡拉 OK，以及各种家用电子电器的遥控系统等。可以这么讲，凡是具有数字电路的电子电器中，几乎少不了微控制器的应用。



### 重要提示

微控制器在一块芯片（集成电路）上集成了中央处理器（CPU）、存储器（RAM、ROM 或 EPROM）和各种输入/输出接口、定时器/计数器、A/D、D/A 转换接口等电路，它是一块大规模集成电路。由于它具有许多适用于控制的指令和硬件支持而广泛用于家用电器控制系统中。

## 16.1

### 微控制器组成

微控制器在用于各种家用电器中的具体电路（硬件）是有所不同的，但是它们的基本组成是相同的，最大的不同就是软件设计不同。通过对微控制器基本组成和各部分电路的介绍，可以初步了解微控制器在整个系统中的控制作用和基本工作原理。

微控制器按位数可分为 4 位、8 位、16 位。微控制器按照工艺可分为 PMOS、NMOS（包括 HMOS）和 CMOS（包括 CHMOS）等三种。微控制器按用途可分为通用型和专用型两类。



### 重要提示

通用型微控制器就是通常所说的各种系列的单片机，它把可开发的资源（ROM，I/O 口等）全

部提供给用户，用户可根据自己应用的需要来设计接口和编制程序，因此适应性较强，应用较广泛。

专用型微控制器是根据某种具体的控制要求进行针对性设计，特别是软件部件只能用于指定的控制功能。

★16.1.1 微控制器硬件基本结构

1. 框图

如图 16-1 所示是微控制器的硬件组成框图。从图中可看出，一个最基本的微控制器主要由几部分组成，如表 16-1 所示。

2. 相互联系方式

微控制器的上述五个基本部件电路之间通过地址总线（AB）、数据总线（DB）和控制总线（CB）连接在一起，再通过输出/输入接口与微控制器外部的电路联系起来。

3. 单片机

由于大规模集成电路技术的迅速发展，可以将上述的五部分基本功能部件（CPU、ROM、RAM、I/O 接口、振荡器和时钟电路等）全部集成在一块半导体芯片上，这样的集成电路芯片被称之为单片微型计算机，单片机的名称是由而来的。

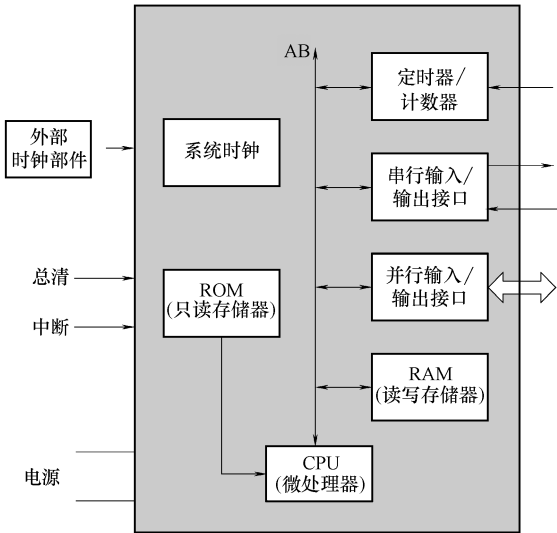


图 16-1 微控制器硬件基本结构框图

表 16-1 微控制器组成说明

| 名称           | 说 明                                                                                                                                |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CPU          | CPU 即中央处理器,这一是微控制器的核心                                                                                                              |
| 存储器          | 存储器包括两个部分:一是 ROM,它用来存储程序。二是 RAM,它则用来存储数据<br>ROM 和 RAM 两种存储器是不同的,将在后面章节中对这两种存储器进行介绍                                                 |
| 输入/输出(I/O)接口 | 这一接口电路分为两种:一是并行输入/输出接口,二是串行输入/输出接口,这两种接口电路结构不同,对信息的传输方式也是不同的                                                                       |
| 定时器/计数器      | 在微控制器的许多应用中,往往需要进行精确的定时和产生方波信号,这由定时器/计数器电路来完成                                                                                      |
| 时钟系统         | 这一系统是微控制器的重要系统,微控制器的工作是按部就班的,按一定规则排列时间顺序的定时,就是由时钟系统控制的。时钟信号要把微控制器执行指令时要做的操作按先后顺序排好,并给每一个操作规定好固定时间,这样就可以使微控制器在某一时刻只做一个动作,可实现电路的有序工作 |

为了增强微控制器的实时控制功能，绝大多数微控制器芯片上还集成有定时器/事件计数器、D/A 转换器和 A/D 转换器等功能部件，以进一步加强微控制器的功能。

★16.1.2 微控制器各部分电路作用

1. CPU 作用

CPU 内部电路相当复杂，将在后面详细介绍。CPU 在微控制器起着核心作用，微控制器的所有操作动作指令的接收和执行指令、各种控制功能、辅助功能都是在 CPU 的管理下进行的。同时，CPU 还要担任各种运算工作。在微控制器中 CPU 起着指挥中心的作用。

通俗地讲，CPU 相当于“人脑”和“算盘”的作用，其中“人脑”用来进行指挥微控制器的各项工作，“算盘”则用来进行各种数据的运算。



2. 存储器

存储器的作用相当于“纸张”。存储器用来存放微控制器中的各程序和数据。

所谓程序就是根据所要解决问题的要求，应用指令系统中所包含的指令，编成一组有次序的指令集合，就称为程序。

所谓数据就是微控制器工作过程中的信息、变量、参数、表格等，例如传感器反馈回来的反馈信息。

在一个具体的微控制器中，程序是固定不变的，但数据是可变的，根据它们的不同存放它们的存储器类型也是不同的。固定不变的程序由称之为 ROM 的存储器来存放，ROM 内除存放应用程序外，还要存放程序中用到的常数和表格，这里程序、常数、表格被永久性存放在 ROM 中，无法改变。

RAM 用于在程序运行期间存储工作变量和数据，在微控制器工作过程中，这些数据可能被要求改写，所以 RAM 中存放的内容是随时可以改变的。



重要提示

微控制器芯片内带有 ROM 和 RAM，根据工艺的可能性和用户要求，有各种不同的配置。芯片内 RAM 从早期的 64 字节增加到 256 字节以上。芯片内 ROM 的容量也越来越大，按照应用对象的不同，其形式也多样化，如采用片内掩膜式 ROM、芯片内 EPROM 或芯片外 EPROM。

微控制器中的程序存储空间和数据存储空间被分隔开，并且采用不同的寻址方式，使用两个不同的存储器地址指针，数据指针指向数据存储器空间，程序计数器 PC 指向程序存储器空间。采用这种寻址方式主要是考虑控制应用的特点，也就是就应用中需要要有较大的程序存储器空间，只需要较小的数据存储器空间，以适应结构紧凑和快速运算的需要。

如表 16-2 所示是程序存储器和数据存储器说明。

表 16-2 程序存储器和数据存储器说明

| 名称    | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 程序存储器 | 程序存储器是只读存储器(ROM),用于存放事先编好程序和表格。例如,4k 的存储器被分成两个区:0 区(000H~7FFFH)和 1 区(800H~FFFH),可由专门的存储区选择指令进行选择<br>0 区中有下列三个单元具有特殊的定义:<br>(1)单元 0。微控制器复位的程序计数器的内容为 0,使得微控制器必须从单元 0 开始执行。一般在该单元存放一条绝对跳转指令,而用户设计的程序从跳转的地址开始存放<br>(2)单元 3。微控制器响应外部中断请求时,自动地把 003H 送入程序计数器,使微控制器转到单元 3 开始执行外部中断处理程序<br>(3)单元 7。当微控制器响应定时器/计数器溢出中断请求时,自动地把 007H 送入程序计数器,使微控制器转到单元 7 开始执行定时器/计数器中断处理程序 |
| 数据存储器 | 数据存储器是一个随机存储器,是一个读/写存储器(RAM),它可读可写,它分成许多单元。微控制器片内的数据存储器用途很多,主要有下列一些:<br>(1)其中的一部分单元当作 CPU 的工作寄存器。当微控制器中没有专门的寄存器阵列时,可使用数据存储器中的一部分单元,如用 16 个单元可作为 CPU 的工作寄存器,在这 16 单元中又可分成零区工作寄存器,1 区工作寄存器(其中一部分可用作地址寄存器)<br>(2)微控制器内有一个大小、地址均为固定的堆栈,设在数据存储器中<br>(3)数据存储器其余的单元是用户的数据区                                                                                               |

3. 输入/输出接口

输入/输出接口常用 I/O 接口表示，I 是指输入接口，是英文 IN 的简写。O 是指输出接口，是英文 OUT 的简写。

输入/输出接口电路是指 CPU 与外部电路、设备之间连接通道及有关的控制电路。由于外部电路、设备的电平大小、数据格式、运行速度、工作方式等均不统一，一般情况是不能与 CPU 相兼容的（即不能直接与 CPU 查连接），这些外部的电路和设备只有通过输入/输出接口的桥梁作用，才能相互之间进行信息传输、交流和使 CPU 与外部电路、设备之间协调工作。

输入/输出接口种类繁多，不同的外部电路和设备需要相应的输入/输出接口电路，可利用编制程序的方法具体确定接口的工作方式、功能和工作状态。

输入/输出接口可分成两大类：一是并行输入/输出接口，二是串行输入/输出接口两种形式，



如表 16-3 所示是两种接口说明。

表 16-3 两种接口说明

| 名称        | 说 明                                                                                                                                               |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 并行输入/输出接口 | 并行输入/输出接口的每根引线可灵活地选作输入引线或输出引线。有些输入/输出引线适合于直接与其他(如发光二极管显示器)电路相连,有些接口能够提供足够大的驱动电流,使与外部电路和设备接口时使用起来非常方便<br>有些微控制器允许输入/输出接口作为系统总线来使用,以外扩存储器和输入/输出接口芯片 |
| 串行输入/输出接口 | 串行输入/输出接口是最简单的电气接口,和外部电路、设备进行串行通信时只需使用较少的信号线<br>并行和串行输入/输出接口各有特点                                                                                  |

4. 定时器/事件计数器

为了提高微控制器的实时控制能力,一般微控制器内都设有定时器。定时器有两种类型:一是增量计数器,二是减量计数器。

增量计数器当定时器溢出时,产生中断并作标志位置位。

减量计数器当定时器回零时产生中断。



重要提示

有的定时器还具有自动重新加载的能力,这使得定时器的使用更加灵活方便,利用这种功能很容易产生一个可编程的时钟。

此外,定时器还可作为一个事件计数器,当工作在计数器方式时,可从指定的输入端输入脉冲,计数器对其进行计数运算。

如表 16-4 所示是定时器工作方式说明。

表 16-4 定时器工作方式说明

| 名称     | 说 明                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工作方式   | 定时器/事件计数器有下列三种工作方式:<br>(1)计数器方式。在执行了启动定时器指令后,内部时钟经分频后加到计数器的输入端,这样每隔一定的时间间隔就有一个计数脉冲,控制计数器的计数值就可以进行定时控制<br>(2)外部事件计数方式。在执行了启动了外部事件计数器指令后,使计数器加 1<br>(3)停止方式。执行停止定时器/计数器指令后,计数器停止计数,计数值被保存在计数器中,可以用指令读出,微控制器在执行复位操作后,计数器也将停止计数,但不改变计数器的内容 |
| 产生串行信号 | 在微控制器中没有串行接口时,为了实现串行输出,可以利用内部的定时器来产生串行信号                                                                                                                                                                                               |

5. 时钟电路

大多数微控制器都设有内部的时钟电路,只需外接简单的定时元件即可构成时钟电路。时钟电路中的振荡器设在芯片内部,只需要外接 RC(阻容元件)或晶振作定时元件就行。时钟电路中若采用晶振作为定时元件,利用晶振优良的性能,可提高时钟系统的工作性能,即稳定、可靠。

微控制器也可以采用外加时钟源。

★16. 1. 3 硬件和软件

微控制器系统是由硬件和软件两大部分组成的。

1. 硬件

前面介绍的各种部件、电路称之为微控制器系统中的硬件,即所谓硬件就是能够看得到的有形元器件、部件、电路,例如上面所介绍的 CPU、存储器、接器电路等。

这里只讨论微控制器的硬件工作原理,软件作为一个独立的领域不作介绍,但是软件对微控制器的工作起着极其重要的作用。

2. 软件

微控制器能够正常而高效地工作只有硬件是完全不行的,必须要有相应的软件来支持,要使微控制器进行各种计算或处理,必须给微控制器编制各种各样程序。所谓软件就是为了进行管理、维修和开发各种微控制器所编制的各种各样程序的总和。



**重要提示**

微控制器之所以能够脱离人的直接干预,而能够自动地进行各种事件约定的无人操作,这是因为软件起了作用。在对一种微控制器系统进行设计时,已经将解决各种问题、实现各种自动操作的步骤、方法等,用指令编成了程序,事先送进了微控制器。微控制器在执行时,只要将指令一条条取出来,加以译码,变成相应的控制信号,去控制微控制器一步步地运行。

在给微控制器输入各种操作指令时,要使用人们和微控制器都能够理解的语言(共同的语言),这就是程序设计语言,它通常称为机器语言。机器语言是一种利用二进制代码表示的、能够由微控制器直接识别和执行的机器码所构成的语言,它就是微控制器的指令系统。

微控制器的软件包括各种程序设计语言、系统软件和应用软件。各种数字式家用电器中都使用微控制器,就微控制器硬件而言可以讲是基本相同的,但它们的功能、具体控制对象、执行方式、运行速度等则千变万化,这就是因为各种具体应用的微控制器所使用的软件不同所致。

### ★16.1.4 指令系统、周期和寻址方式

#### 1. 指令和指令系统

所谓指令就控制微控制器进行各种操作和运算的命令,这些命令是以二进制代码形式出现的,如 ASCII 码(美国标准信息交换码)。

指令由两部分组成:一是操作码,二是操作数。

操作码规定了微控制器进行什么性质的操作。

操作数规定了哪些数参加这次操作以及操作结果存放在何处。

所谓指令系统是这样:对于不同应用功能的微控制器,其指令代码的编码规则设计是不同的,这套指令代码就是这种微控制器的指令系统。

#### 2. 周期

微控制器在工作过程中,各部分电路在时钟脉冲的控制下协调一致地运算、工作,一个节拍一个节拍地按照预定程序去完成相应的操作,所谓周期就是微控制器完成规定操作所需要的时间。微控制器周期概念有三种:一是指令周期,二是时钟周期,三是机器周期。

1) 所谓指令周期就是在控制器控制下,执行一条指令(从取出这条指令并完成该指令所规定的操作)所需要的全部时间。

2) 所谓时钟周期就是微控制器处理操作的最小单位,也就是时钟的最小节拍,从时钟脉冲信号的波形上讲就是连续两个时钟脉冲前沿之间的时间间隔。每一个时钟周期,微控制器都要完成某个确定的操作。

一个指令周期由若干个机器周期组成,而一个机器周期又划分为若干个时钟周期。

3) 所谓机器周期就是 CPU 从存储器或输入/输出接口读写、存取一个字节相应所需要的时间。

#### 3. 寻址方式

在指令中有个操作数,它规定了哪些参数参加该次的操作。但是,指令中往往不是直接将操作参数给出(参数存放在存储器的某个存储单元中),只是给出这个参数所存放单元的地址(地址就是数据存放在存储器中的“门牌号码”,是一组二进制代码,称为地址),有了这个参数的地址码,也就能取出这个参数。

所谓寻址方式就是用什么方式来找出这个操作参数所存放单位的地址。寻址方式的一个重要问题就是,在整个存储器范围内,如何灵活方便地找到所需的存储单元。

### ★16.1.5 微控制器小结

#### 1. 微控制器特点

微控制器具有下列一些特点:

1) 微控制器最大的两个特点之一是整个电路集成在一块或一大块加几小块集成电路中, 二是各部分电路之间通过几条总线连接在一起。

2) 从结构角度讲上, 微控制器有两个特点: 一是内部总线, 二是采用多内部寄存器结构。

3) 微控制器具有很强的功能, 且通用性较好, 所以广泛地用于各种家用电器电路中。

4) 微控制器的总线大多数是设在集成电路内部, 不易受到干扰, 所以工作时的可靠性很强。

5) 微控制器可分时使用, 通常一台家用电器中使用一个微控制器就能实现各种控制功能。

6) 微控制器的控制方式由软件实现, 各种家用电器中的微控制器其硬件结构是基本相同的, 只是软件设计不同, 具有较强的修改操作性和灵活性。

## 2. 小结

关于微控制器这里主要说明下列几点:

1) 微控制器就是一台微型化、注重控制功能的计算机, 只是它不像台型计算机那样有专门的显示器和很强的计算功能, 但能够完成计算机的一些控制功能, 并且是专门针对控制功能而设计的微型计算机。

2) 微控制器有硬件和软件两大部分组成, 各种微控制器的硬件大体是相同的, 主要不同之处就是软件设计不同, 不同用途的微控制器其软件是专门设计的, 就是能够完成相同功能的微控制器, 不同厂生产的微控制器其软件设计也是不相同的。

3) 微控制器集成电路在一些机器的整机电路图中画出它的内电路框图, 此时利用该框图可以了解微控制器电路各部分电路组成, 通过内电路中的连接线和箭头方向, 可以了解各部分电路之间的相互联系。但是, 也有为数不少的整机电路图中不画出微控制器集成电路的内电路框图, 此时可查找有关集成电路手册, 从中了解该型号微控制器集成电路的内电路组成情况。

4) 有的微控制器集成电路内电路中, 各部分电路用中文解说明, 有的则是用英文解说明, 所以了解一些常用的专用英文名词对电路分析是相当有利的。

5) 在进行微控制器电路分析时, 对硬件分析比较直观, 可以软件是无法从电路图中看到的, 只能通过了解微控制器的运行方式来了解, 通常没有必要去深入了解软件情况。

6) 微控制器通常是由一块大规模集成电路和几块辅助集成电路构成, 微控制器中的主要电路就集成在该块大规模集成电路之中。

7) CPU 是微控制器中的核心, 为了分析微控制器电路工作原理, 对 CPU 的结构、工作原理必须深入了解, 对于 CPU 的工作过程则必须掌握。

上面介绍了一些基本术语, 如机器周期、指令、时钟等, 对它们的具体技术含义要充分了解, 否则在学习中遇到这些术语就无法正确理解文中的意思。

## 16.2 中央处理单元 (CPU)

中央处理单元简称 CPU, CPU 是英文 Central Processing Unit 的缩写。CPU 主要三大部分组成: 运算器、寄存器和控制器。

如图 16-2 所示是典型的中央处理单元组成框图, 各单元电路可以归纳成为三类: 一是算术逻辑运算部件, 二是控制逻辑部件, 三是寄存器部件, 它们都挂在内部总线上。CPU 对外引出端分别为地址总线 (AB)、数据总线 (DB) 和控制总线 (CB)。

### ★16.2.1 算术逻辑运算部件

算术逻辑运算部件简称运算器, 用 ALU 表示, ALU 是英文 Arithmeticlogic Unit 的缩写。算术逻辑运算部件在整个微控制系统中相当于算盘, 用来对各种信息代码进行算术逻辑运算。在微控制器的工作过程中存在大量的算术逻辑运算, 这就是由算术逻辑运算部件来完成的。

算术逻辑运算部件是微控制器执行算术和逻辑运算的主要部件, 它具有两个输入端和两个输出端。



### 1. 输入端

算术逻辑运算部件 (ALU) 的一个输入端与暂存器 (TR) 相连, 还有一个输入端与累加器 (A) 相连, 来自 CPU 内部数据寄存器 (DR) 或内部寄存器阵列 (RA) 的操作数, 都要先送到这两个寄存器中, 然后才能由算术逻辑运算部件 (ALU) 进行相应的操作。

### 2. 输出端

算术逻辑运算部件 (ALU) 的一个输出端与内部总线相连, 以便把处理的结果通过内部总线送回到累加器 (A) 中。算术逻辑运算部件 (ALU) 的另一个输出端与状态标志寄存器 (F) 相连, 算术逻辑运算部件 (ALU) 每次操作后, 通过对处理结果的判断, 设置状态标志寄存器相应的位, 来代表微控制器的某种状态。

因此, 微控制器每执行完一条指令后所处的状态, 都可由状态标志寄存器 (F) 相应的位来体现和表征。

### 3. 执行功能

算术逻辑运算部件 (ALU) 在指令译码器的控制下, 接收从 1 个或 2 个数据源来的数据 (8 位的微控制器为 8 位), 运算结果也是产生 8 位数据。

算术逻辑运算部件 (ALU) 能执行的操作功能通常有下列几类:

- 1) 逻辑运算: 与、或、异或 (半加)。
- 2) 加 1/减 1。
- 3) 按位取反。
- 4) 移位: 左移、右移。
- 5) 半字节交换。

6) BCD 十进制调整。当算术逻辑运算部件 (ALU) 对两个 BCD 数按二进制进行加法运算后, 累加器中的结果必须经过十进制调整单元的适当调整, 才能得到 BCD 数的结果。

如果算术逻辑运算部件 (ALU) 执行的操作结果产生 8 位以上的数据 (最高位溢出), 则程序状态字 (PSW) 中的进位标志 (CY) 置 1。

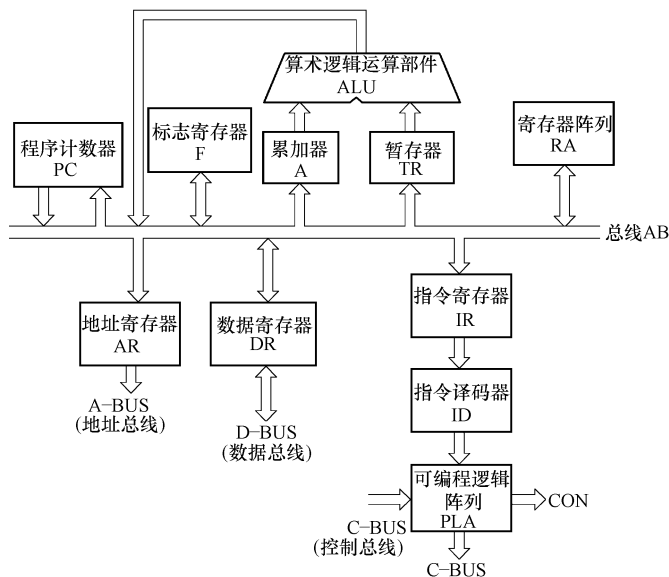


图 16-2 中央处理单元组成框图

## ★16.2.2 控制逻辑部件



### 重要提示

控制逻辑部件的作用相当于人脑, 在 CPU 中起着总指挥者的角色。在微控制工作过程中, 控制逻辑部件发出各种控制指令, 实现微控制器各部件之间的有机联系, 以使微控制器处理过程能自动地、协调一致地进行。

控制逻辑部件的具体作用是, 使微控制器中的各部件按一定时间节拍协调一致地工作, 它给算术逻辑运算部件、输入/输出接口、存储器发送同步信号, 控制 CPU 按一定的顺序进行指令读取、译码并执行等一步步操作, 同时发出相应的外部控制信号与外设联通。



1. 工作过程

要执行的指令从程序存储器中取出，经总线送到指令寄存器（IR），再通过指令译码器对指令进行译码，并根据对控制条件的测试，由定时器和控制器按不同的指令周期发出相应的定时和控制信号，控制运算器各部件的操作，控制数据源寄存器和目的寄存器，使微控制器各有关部件间协调地按指令完成操作功能。

定时器能接受外部的请求信号，能根据指令的要求发出相应的外部控制信号。

2. 组成和工作说明

控制逻辑部件主要由 4 部分组成：指令译码器（ID）、可编程序逻辑阵列（PLA）、指令寄存器（IR）和程序计数器（PC）。

如表 16-5 所示是控制逻辑部件 4 部分工作说明。

表 16-5 控制逻辑部件 4 部分工作说明

| 名称       | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 指令译码器    | (ID)的作用是接收指令寄存器(IR)传送来的指令中的操作码,并对指令中的操作码进行译码处理,以获得相应的控制信息                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 可编程序逻辑阵列 | 可编程逻辑阵列(PLA)用来接收指令译码器(ID)送来的指令操作码信息,以及各种状态测试信号、外部设备送来的请求信号、响应信号等,并发出各种内部控制信号和外部控制信号<br>外部控制信号通过控制总线 CB 送出,去控制存储器或输入/输出接口                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 指令寄存器    | 指令寄存器(IR)的作用是用来暂时寄存正要被执行的指令。指令从程序存储器中取出后,首先送到指令寄存器(IR)中,然后将指令中的操作码送到指令译码器(ID)中进行译码,并产生相应的内部或外部控制信号<br>指令中的操作数,一般为参加运算的数据所存放的地址,被送到地址缓冲器中,然后找到相应的存储单元,将数据取出参加运算                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 程序计数器    | 微控制器中,程序是存放在程序存储器中,它是一种只读存储器(ROM,这种存储器只能读出数据,不能写入数据),微控制器运行时能够脱离人的直接干预而自动地进行操作,这过程中程序计数器(PC)起了关键的作用<br>程序计数器是专门用于存放下一条将要执行的指令地址的一个专用寄存器。程序计数器具有两个功能:一是计数功能,二是接收信息功能,其作用是计算和保持程序执行过程中下一条指令的地址<br>在程序顺利执行过程中,程序计数器不断地自动进行加 1 计数,以便按顺序给出下一条将要执行的指令地址。当程序非顺序执行时,即发生转移时,程序计数器接收转移地址,从而使 CPU 能找到转移后下一个将要执行的指令地址<br>如果微控制器的程序计数器是 12 位的,参与计数的只有 11 位,PC11 不计数,由存储器区选择指令指定它的内容是“0”还是“1”,用控制不同的程序存储区(有两个区)。当 PC11 等于 0 时,程序计数器在一个区内计数,计数到最大值后又回到 000H。当 PC11 等于 1 时,程序计数器的计数范围进入另一个区 |

★16. 2. 3 寄存器部件

1. 累加器

微控制器中使用最频繁的寄存器是累加器（A），也是 CPU 中最重要的一个数据寄存器，许多操作都与累加器相关。

由于算术逻辑运算部件（ALU）只是一个运算部件，其本身没有寄存代码的功能，因此，凡是通过算术逻辑运算部件进行算术和逻辑运算的操作，操作数之一是累加器中的数，而且经算术逻辑运算部件运算后的结果也必须通过内部总线送回到累加器中去，然后才能再执行其他操作而转送到其他单元（例如寄存器、RAM、输入/输出接口等）中去。

2. 状态标志寄存器

标志寄存器（F）由多个触发器电路组成，用来存放算术逻辑运算部件（ALU）操作后的一些状态标志，常有的状态标志主要有：进行标志（C）、辅助进行标志（AC）、符号标志（S）、全零标志（Z）、溢出标志（V）、奇偶校验标志（P）和减法标志（N）等。

状态标志寄存器的作用是用于保存微控制器执行完一条指令后，微控制器所处状态的有关信息，例如是否有溢出、是否有进位产生、符号位是零还是 1 等等。执行程序时，也可以通过对这些状态的测试（对微控制器所处状态的判断），来阅览程序下步的走向，是否需要转移和分支等。

3. 暂存寄存器

暂存寄存器（TR）的作用是将输入到算术逻辑运算部件（ALU）的数据与内部总线隔离。





由于算术逻辑运算部件的两个输入，一个来自累加器（A），另一个则来自其他寄存器或存储器，需通过内部总线送入算术逻辑运算部件，而算术逻辑运算部件的运算结果也需要通过内部总线送回累加器，若没有暂存寄存器，就会引起算术逻辑运算部件的输入和输出同时出现在内部总线上的混乱情况，所以要设置一个暂存寄存器，暂存算术逻辑运算部件的输入数据。

4. 地址缓冲寄存器和数据缓冲寄存器

地址缓冲寄存器（AR）和数据缓冲寄存器（DR）的作用是协调 CPU 同存储器或输入/输出接口电路之间在运行速度、工作周期等方面所存在的差异，以保证地址信息和数据信息的正确传送。

CPU 发出的地址信息首先送到地址缓冲器中暂存，来等待存储器输入/输出接口接收地址信息，而 CPU 接着进行其他的操作。对于数据信息的输入和输出，由数据缓冲起中间缓冲作用，因此数据缓冲寄存器是双向的。

5. 寄存器阵列

寄存器阵列（RA）通常包括：一是由若干个通用寄存器组成的通用寄存器组，二是堆栈指针（SP）等。

寄存器阵列（RA）是 CPU 内部的小容量高速存储器，用来暂时寄存运算中的一些中间结果，以减少对存储器的频繁访问，从而提高微控制器的运行速度。

★16.2.4 总线

微控制器中的总线共有三种：地址总线，用 AB 表示；数据总线，用 DB 表示；控制总线，用 CB 表示。

1. 总线结构

如表 16-6 所示是微控制器的总线的三种结构说明。

表 16-6 微控制器的总线的三种结构说明

| 名称    | 说 明                                                                              |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 单总线结构 | 有的微控制器中,将两个操作数和运算结果都用同一组内部总线分时传输,这称为单总线结构。这种总线结构虽然速度低些,但布线比较少,加工容易,所以这种结构的总线比较流行 |
| 双总线结构 | 有的微控制器中,将两个操作数用不同的内部总线分别传输,这称为双总线结构                                              |
| 三总线结构 | 有的微控制器中,将两个操作数和运算结果分别用不同的内部总线独立传输,这称为三总线结构。这种总线结构运算速度比较快,但布线比较多                  |

2. 总线示意图和说明

总线英文是 BUS。所谓总线就是微控制器中用来传输信息的一组通信线路，如图 16-3 所示是地址总线（AB）、数据总线（DB）和控制总线（CB）示意图，从图中可看出，三条总线都与 CPU 相连接，总线将多个信号源和多个接收部件联系起来，相互之间传输信息。

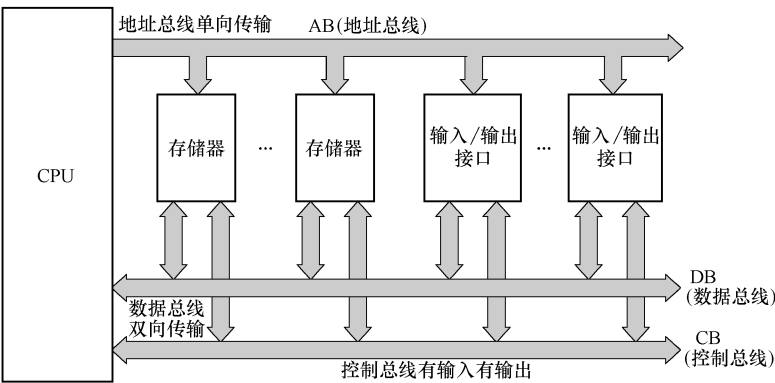


图 16-3 总线示意图

从图中可看出，这里的总线是各信号源和接收部件共用的总线，信号可以从多个信号中的任意一个传输到某一个接收部件中，各部件之间按时间轮流使用总线，这称为分时，这样可以大降低总线的数目。如表 16-7 所示是三种总线说明。

3. 分时使用

所谓分时使用就是总线被许多部件共用，但在某一时刻只允许一对部件（一个信号源和一个接收部件）在使用总线，其他部件则与总线脱离。

表 16-7 三种总线说明

| 名称   | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 地址总线 | <p>地址总线用 AB 表示,AB 是英文 Address Bus 的缩写</p> <p>地址总线用来由 CPU 向存储器 (ROM) 单元和输入/输出接口发送 (传输) 地址信息,由于存储器 (ROM) 单元和输入/输出接口是不会向 CPU 传输信息的,所以地址总线是单向传输总线</p> <p>在微控制器中使用了能够存储大量信息的存储器,存储器好像是一间很大的仓库,在库房内分隔成许多单元,不同的单元存放着各种参数、表格和程序,如果是一个 64k 的存储器,它共分成了 <math>2^{16} = 65536 = 64k</math> 个存储单元。为了能够方便地找到这 64k 单元中某一个单元中的内容,必须给这 64k 单元编上相应的号,就像编制“门牌号码”一样,这些“门牌号码”就是地址,地址是用二进制代码表示的地址码</p> <p>CPU 要发出的地址信息就是通过地址总线去访问存储器的某一个单元。同样道理,输入/输出接口在微控制器中也有许多(但远没有存储单元多),它们也有相应的地址代码,CPU 发出的地址信息也是通过地址总线传输到某一个输入/输出接口</p> <p>一个 8 位 (8bit) 的微控制器,其地址总线数目一般为 16 根,一般用 A0 ~ A15 表示,这 16 根地址通信线可以寻址的存储单元数目是 64k。输入/输出接口的数目比较少,一般只用 A0 ~ A15 中的 8 根,它可以寻址的数目是 <math>2^8 = 256</math> 个</p> <p>地址总线的位数决定了所用微控制器的最大寻址空间。在微控制器的位数 (即几位的微控制器) 和地址总线数决定后,内部存储器 (称为内存) 的最大容量也就确定了。但是,这些内部存储容量往往不能满足微控制器工作的需要,这时就需要外部存储器 (称为外存)</p> |
| 数据总线 | <p>数据总线用 DB 表示,DB 是英文 Data Bus 的缩写</p> <p>数据总线用来在 CPU 与存储器、输入/输出接口和其他电路之间传输数据。由于数据可以从 CPU 传输到内部存储器,输入/输出接口,也可反方向传输到 CPU 中,所以数据总线是双向传输的总线,这一点与地址总线是不同的</p> <p>数据总线的根数与微控制器的位数相对应,一个 8 位 (8bit) 的微控制器,其数据总线数目一般为 8 根,一般用 D0 ~ A7 表示</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 控制总线 | <p>控制总线用 CB 表示,CB 是英文 Control Bus 的缩写</p> <p>控制总线的作用用来传输控制信息,例如传送中断请求、定时脉冲和读写操作等。控制总线是单向传输的,但是对 CPU 来讲,根据各种控制信息的具体情况,有的是输入信息,有的是输出信息</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

为了保证总线的分时使用，在各部件与总线之间都是采用三态门电路连接，通过控制器按指令的要求控制各个三态门电路的工作状态，以保证总线的分时使用，在某一时刻不参与工作的三态门均处于高阻状态，相当于与总线之间断开。

4. 数据的存取

数据存储在有记忆功能的存储器中。对存储器中的数据进行提取或将数据写入存储器时，起码需要下列两条控制线：

一条是区分读操作和写操作的读/写（R/W）控制线，这根线要连接到 CPU 的 R/W 端，由 CPU 决定对存储器是进行读出数据，还是写入数据，即确定数据的流向。

另一条线是片选控制线（CS），有时也称片启动控制线（CE）。每一个存储器都是通过三态门电路与总线相连接，片选信号就是控制这些三态门的工作状态的控制信号。当片选信号到来时，即片选信号为高电平，存储器才工作。

重要提示

由于三态门的工作特性，没有片选信号（高电平）到达存储器，三态门电路对数据总线呈高阻状态。正是由于这个特点，可以将许多单片存储器电路同时接到 CPU 总线上而不会造成总线的过载问题，这样总线可以挂上许多存储器，形成大容量的存储器。

在对存储器进行读取操作时，是根据地址总线上的地址码来查找存储器中的存储单元，将数据写入或读出。





### ★16.2.5 单 CPU 和多 CPU 控制系统

一般情况下，一台家用电器中的整机控制系统只使用一个 CPU，但是随着家用电器控制功能的增多，对 CPU 的负载增加，使用一个 CPU 来控制整机工作，对这只 CPU 的要求增加，使 CPU 的功能和性能价格比降低，为此在一些新型家用电器中采用多 CPU 控制系统。

#### 1. 单 CPU 控制系统

如图 16-4 所示是单 CPU 某影碟机的整机控制系统框图，从图中可看出，整个机器中只使用了一只微控制器，所以这是单 CPU 控制系统。在这种单 CPU 控制系统中，微控制器要完成整机所有的控制任务，这样对输入/输出接口、内部程序存储器等硬件和控制软件程序的要求比较高。

从图中可看出，一只微控制器要控制 CDP 系统、VCD 解码系统、显示系统和按键输入、红外遥控等。

CDP 是 CD 盘播放器的简称，CDP 是英文 Compact Disc Player 的缩写。CDP 系统包括 CS 机的光头、装载机构和光盘旋转机构等机械机构、伺服系统、CD 数字信号处理器，它是指挥、控制、协调上述电路、机构工作的控制系统。

#### 2. 多 CPU 控制系统

如图 16-5 所示是多 CPU 控制系统结构框图，从图中可看出，在这一控制系统中使用主 CPU 和从 CPU，由主 CPU 指挥和控制从 CPU，这样从 CPU 分担了一些主 CPU 的控制功能。采用这种控制方式后，可以降低对主 CPU、从 CPU 的硬件和软件要求。

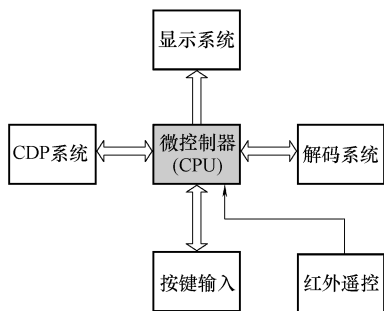


图 16-4 单 CPU 某影碟机整机控制系统框图

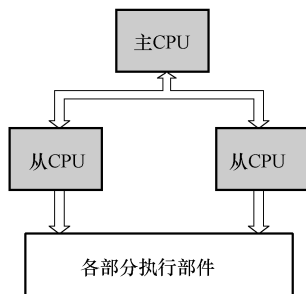


图 16-5 多 CPU 控制系统结构框图

如图 16-6 所示是一些影碟机中的整机控制系统结构框图，从图中可看出，控制系统中使用了两个微控制器，主微控制负责管理 CDP 系统、显示系统、按键输入、红外遥控和从微控制器，而从微控制器只负责管理 VCD 解码系统。

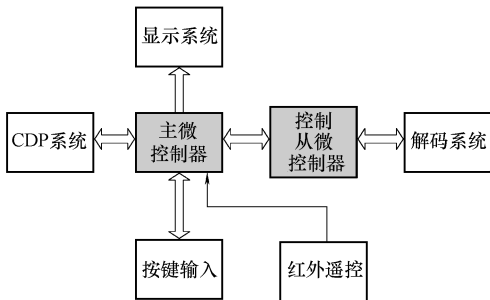


图 16-6 双微控制器控制系统结构框图

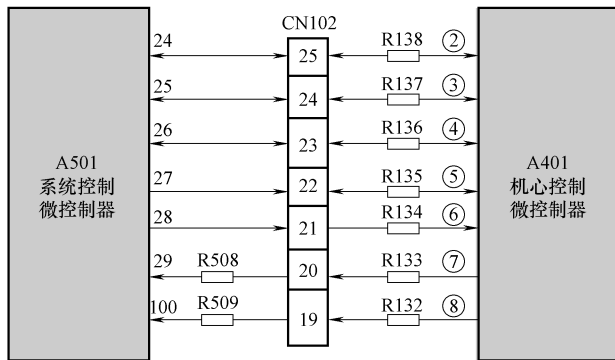


图 16-7 双微控制器控制系统电路

如图 16-7 所示是某实用的影碟机微控制器控制系统电路，在该机的系统控制中也是采用了主、从 CPU 结构。电路中，A501 是主微控制器集成电路，A401 是从微控制器集成电路，A401 用来控

制机心部分,其他部分则由 A501 控制。电路中, CN102 是线路之间的连接件。

在集成电路 A501 中, ②、⑤、⑥和⑦脚是数据输入/输出端, 与集成电路 A401 的②、③、④和⑤脚进行数据交换, 各种控制信息都在这 4 位的数据信号中。

当集成电路 A501 的②脚发出指令请求信号 (MREQ) 到集成电路 A401 的⑥脚时, 集成电路 A401 便从⑦脚发出指令承认信号 (SACK), 经电阻 R133 和 R509 加到 A501 的②③脚, 集成电路 A401 从⑧脚发出脉冲指令信号 (QINT), 经电阻 R132 送到集成电路 A501 的⑩脚, 这时两个微控制器之间通过四位数据通信线进行数据的交换和识别。



#### 重要提示

关于微控制器系统中的 CPU 主要小结下列几点:

1) 微控制器中的 CPU 主要有运算器、寄存器和控制器组成。运算器主要进行各种数据的算术逻辑运算, 它的具有作用相当于一个“算盘”。寄存器用来存储器各种有关信息, 它的作用相当于“纸张”。控制器是一个总指挥, 它在微控制器系统中相当于“人脑”。

2) 对 CPU 的结构要了解, 对它的各部件具有作用要清楚。在实用的整机电路图中, 一般情况下不会画出 CPU 的结构框图, 此时只有通过 CPU 内部结构和各部件电路作用的了解来理解 CPU 的工作过程。

3) 一台电子电器中, 可能只用到一个 CPU, 也出现了多 CPU 结构形式, 这就是为了降低对 CPU 过高的性能要求, 提高 CPU 的性能价格比。

4) 在多 CPU 结构的微控制系统中, 有一只是主 CPU, 其他的是从 CPU, 从 CPU 仍然受到主 CPU 的控制, 只是从 CPU 分担了一部分本应该是主 CPU 做的事情。

5) CPU 的内部和外部都是通过三种总线与各部件之间进行联系, 也就是地址总线、数据总线和控制总线。地址总线用来传送地址信息, 它是一种单向传输总线, 地址总线在三种总线中的数目最多, 通常地址总线用  $A \times \times$  表示。数据总线是用来传送数据的总线, 它是一种双向总线, 即它可用来传送 CPU 的输出数据, 也可以用来向 CPU 传送输入数据, 一般情况数据总线数目也较多, 常用  $D \times \times$  表示。控制总线用来传送控制信息, 它是一种单向传输总线, 对于 CPU 来讲, 控制总线所传送的控制信号有的是输入信号, 有的是输出信号, 控制总线的数目少些, 通常用  $C \times \times$  表示。

6) 微控制器中的总线是许许多多部件所共用的, 各部件通过三态门都挂在总线上, 三态门有一个高阻状态, 此状态下该门呈开路状态, 即与总线脱离, 此时对总线而言它就不是一个负载, 正是由于三态门的这一特点, 可以使许许多多部件同时挂在总线上而不使总线过载。

7) 许多部件都挂在总线上, 换言之, 一根总线要被许多部件所使用, 总线在某一时刻只被一对部件使用 (即总线一端接的是信号源部件, 另一端接的是信号接收部件), 在另一时刻总线又被另一对部件使用, 这种许多对部件轮流使用总线称为分时。

## 16.3

### 微控制器工作过程简介

在微控制器中, CPU 不仅要实现对自身控制, 还担负对微控制器芯片内外其他功能部件的控制, 完成规定的操作和运算。CPU 在实现这些控制功能时, 是通过逐步执行指令序列的过程来完成的。

#### ★16.3.1 微控制器基本操作

微控制器在对任何一条指令的执行都必须经历三个阶段: 取指令阶段、分析指令阶段和执行指令阶段。



### 1. 取指令过程

在微控制器中，按照控制功能要求设计的程序已经存放在程序存储器中了，微控制器开始运行后，自动地把指令逐条取出来执行。如图 16-8 所示是典型的取指令的时序波形图。

取指令过程要在时钟脉冲协调作用下进行的，整个取指令过程分成下列几步：

1) 要将指令从程序存储器中取出，第一步是由程序计数器（PC）给出指令所存放单元的地址信息。在时钟脉冲的控制下（见图中的时钟脉冲），从程序计数器中把将要被取出指令的地址，通过地址总线（AB）送至只读存储器（ROM）的地址译码器输入端。

2) 当地址有效信号出现负跳变时（见图中地址有效信号的负跳变），表示地址信号已在地址总线上稳定，这时地址译码器可以取走地址信号。

3) 地址译码器取走的地址信号经译码找到指定的单元。

4) 再经一定时间的延迟后，CPU 发出读出指令的有效信号。

5) 读出指令的有效信号作为从只读存储器（ROM）中读出指令的控制脉冲，当该脉冲出现正跳变时（见图中指令有效信号中的正跳变），指令内容出现在数据总线（DB）上。

6) 在数据总线上的指令内容送到指令寄存器（IR）中。

7) 在指令寄存器中的指令送到指令译码器开始译码时，程序计数器自动加 1，为取下一个字节的指令作好了准备。

### 2. 存储器读/写过程

如图 16-9 所示是典型的存储器读/写过程时序波形图。从存储器中读取一个数据，送至 CPU 的某个寄存器，这一过程称为读。由 CPU 将数据写到某个存储单元，这一过程称为写。对存储器的读或写称为对存储器的访问。

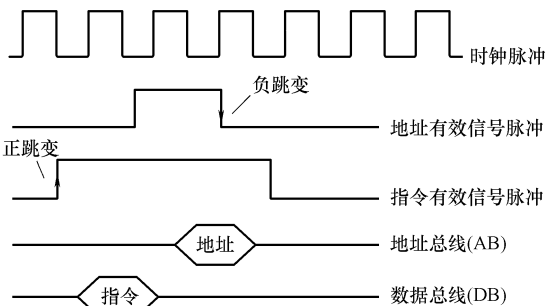


图 16-8 典型的取指令的时序波形图

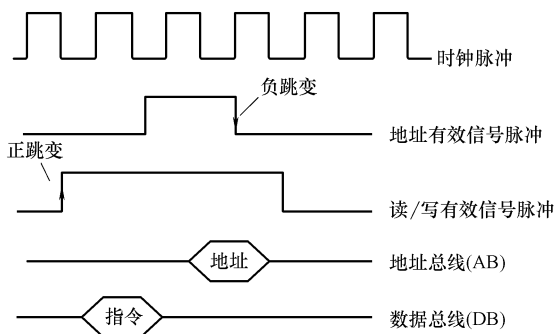


图 16-9 典型的存储器读/写过程时序波形图

#### 重要提示

存储器读/写操作过程与上面介绍的取指令操作过程基本相同，不同之处有以下几点：

- 1) 在取指令过程中，地址信号由程序计数器（PC）发出，而存储器读/写操作过程中，地址信号由指令中的操作数确定，也是通过地址总线（AB）传输。
- 2) 从存储器读出的数据不再送到指令寄存器，而是送到指令的操作数所规定的某个寄存器中。
- 3) 存储器进行读/写操作时，数据的流动方向由读/写信号来控制。

### 3. 输入/输出接口

CPU 通过输入/输出接口电路与外部电路实现数据的交换，这就是输入/输出操作。每一个输入/输出接口都有一个对应的地址编码，这样便可以将输入/输出接口作为存储器的一个单元来对待。

输入/输出接口地址作为操作数放在指令中，控制输入/输出接口的信号是接口的读/写控制信号。

### ★16.3.2 程序顺序执行过程简介

微控制器的工作过程就是执行程序的过程。程序由指令序列组成，因此程序的执行过程就是执行指令序列的过程，也就是周而复始地进行取指令、执行指令的过程。

微控制器在开始执行程序时，必须由人工通过微控制器的外部输入设备（如键输入操作）给微控制器具体的操作要求，例如打开机器电源开关，或按下某一功能键，微控制就能得到一个指令操作码。这一指令操作码被取到控制器内，因而控制器发了相应的控制信号。而在执行指令阶段，由于不同指令的功能不同，要求机器执行的操作也不同，因而控制器发出的控制信号也随之不同。通常采用脉冲顺序分配器，将机内时钟脉冲变为周期重复的时序脉冲，并用此作为控制信号的来源。

#### 1. 程序的执行种类



##### 重要提示

程序的执行种类可分为4种：一是从零地址开始执行，二是从中间某一给定地址开始执行，三是顺序执行，四是非顺序执行。

为了实现程序的执行，微控制器中程序计数器（PC）具有这样的三项功能：一是复位时自动清零，二是程序执行过程中自动加1，三是接收内部总线传送来的数据。

在程序执行前，微控制器先复位，程序计数器便清零，即初值为零，程序执行时便从零地址开始。如果需要程序从中间某一给定的地址开始执行时，先将该确定的地址赋给程序计数器作为初值，程序便能从该地址开始执行。

无论是程序的哪一种执行，在程序计数器的PC值送出后程序计数器就自动加1，为下次送出一个PC值作好了准备，从而顺序地从只读存储器（ROM）中读取指令，这是程序的顺序执行。

#### 2. 举例说明

这里以“一个数送到累加器（A）”这样一条指令为例，来说明指令顺序执行的全过程。这条指令占有两个存储单元，设第一单元地址为00H，用来存放指令的操作码。设第二单元地址为01H，用来存放指令的操作数（一个具体的数）。在指令执行前，应将这条指令的第一单元地址送到程序计数器（PC）中，然后运行，便开始执行这条指令，如图16-10所示是执行该指令全过程的示意图。

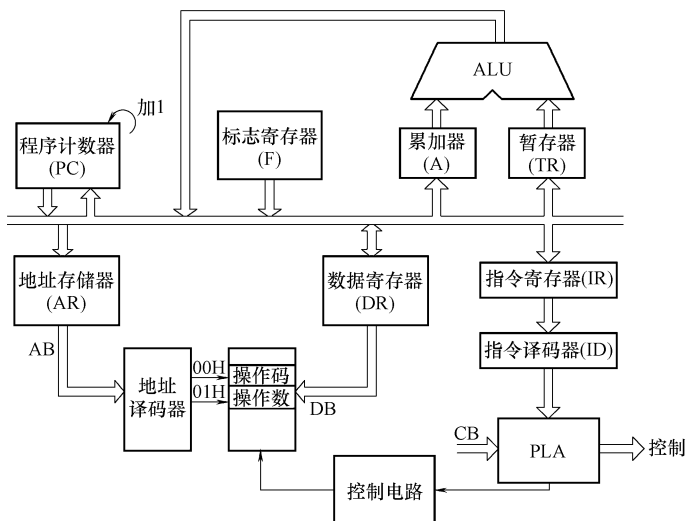


图 16-10 执行指令的全过程示意图



如表 16-8 所示是执行该指令过程说明。

表 16-8 执行该指令过程说明

| 名称            | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 取出并执行第一单元内容过程 | 取出并执行第一单元内容的全过程是这样：<br>(1) 在时钟脉冲的控制下,将程序计数器(PC)中的内容 00H(第一单元地址)通过内部总线送到地址缓冲寄存器(AR)<br>(2) 当程序计数器的内容 00H 可靠地送到地址缓冲寄存器时,发出地址有效脉冲,程序计数器的内容自动加 1,变为当前的内容 01H,已经为取下一个存储单元内容作好准备<br>(3) 当地址有效控制脉冲出现负跳变时,地址缓冲寄存器中的地址信号 00H 已经稳定地出现在地址总线(AB)上<br>(4) 地址 00H 经程序存储器的地址译码器译码后,选中了存储器中的 00H 号存储单元<br>(5) CPU 发出读指令的信号,即指令有效控制脉冲<br>(6) 所选中的 00H 号存储单元的内容(这一内容就是指令的操作码)被读到数据总线(DB)上<br>(7) 所读出的指令操作码通过数据总线被送到了数据寄存器(DR)中<br>(8) 由于这是取指令操作,所以取出的指令内容经内部总线送到指令寄存器(IR)中<br>(9) 将该指令内容经指令译码器(ID)译码后,送到可编程逻辑阵列(PLA)中,由可编程逻辑阵列发出各种相应的内部或外部控制信号<br>(10) 由于这一指令的操作码是要求将一个数送到累加器 A 的操作,因此可编程逻辑阵列发出这样的控制信号,即要求将第二单元中的操作数取出送入累加器(A)中 |
| 取出并执行第二单元内容过程 | 取出并执行第二单元内容的全过程是这样:程序计数器(PC)的内容 01H 通过内部总线给地址寄存器(AR)发出地址有效控制脉冲,程序计数器的内容自动加 1 后变为 02H,为取下条指令作好准备<br>当地址有效控制脉冲出现负跳变时,地址寄存器中的地址信号已在地址总线(AB)上稳定建立,01H 经程序存储器的地址译码器译码后选中 01H 号存储单元<br>CPU 发出读指令的信号,也就是发出指令有效控制脉冲,使所选中的 01H 号存储单元的内容(指令操作数)被读到数据总线(DB)上。读出的操作数送到数据寄存器(DR)<br>由于读出的是操作数,而且指令要求把它送到累加器(A),因此该操作数通过内部总线送入累加器中                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

★16.3.3 控制方式

在许多程序的执行中需要去控制微控制器的外部电路,其控制方式有两种:一是直接控制方式,二是间接控制方式。

1. 直接控制方式

如图 16-11 所示是直接控制方式电路框图,从这种控制方式中可看出,从微控制器输出的控制信号直接加到执行部件中,这要求负载较轻,而且微控制器输出的控制信号有一定的驱动功率。

直接控制方式具有两个特点:

- 1) 控制电路结构比较简单。
- 2) 直接控制方式中,控制信号输出接口直接占用了微控制的输出接口,用来传输微控制器发出的控制信号,当执行部件的数目较多时,要求微控制器有相应数目的输出接口,所以在执行部件数目比较多时,一般不采用这种直接控制方式,而是采用间接控制方式。

2. 间接控制方式

如图 16-12 所示是间接控制方式电路框图,从图中可看出,在这种控制方式中,在微控制器和执行部件之间还有一个控制器,从微控制器输出的控制指令首先加到控制器电路中,然后由控制器发出控制信号给外部的执行部件。

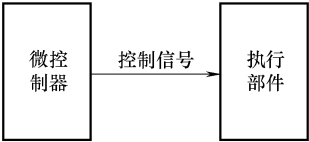


图 16-11 直接控制方式电路框图

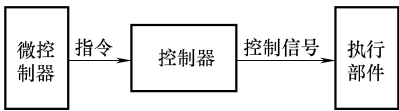


图 16-12 间接控制方式示意图

间接控制方式的特点有两个:

- 1) 这种控制方式的电路结构比较复杂,需要增加一个控制器电路。



2) 这种控制方式中,对微控制器输出接口数目要求可以比较少,在有许多外部执行部件时宜采用这种控制方式。

### ★16.3.4 程序非顺序执行中的中断

上面介绍的程序的顺序执行过程,但是微控制器只有程序的顺序执行还不能满足实际需要,还需要程序的非顺序执行。

所谓程序的非顺序执行就是在程序计数器(PC)的PC值发出之前通过内部总线置一个新值给程序计数器,将原值换掉,即需要执行新的PC值。

程序的非顺序执行称程序的转移,又分两种情况:一是称为非指令转移(中断)。二是称为指令转移,指令转移又有跳转指令和子程序调用返回之分。

#### 1. 中断简介

在正常情况下,微控制器执行原定的主程序,但是当微控制系统发生故障或是程序出错、外部设备要求与微控制交换信息时,需要微控制器作应急处理,这时外部设备可向微控制器发出中断请求。

例如,影碟机在正常播放过程中,微控制器在执行有关正常播放的程序(这里称为主程序),现要求快速向前搜索,此时微控制器在外部按键操作控制下中断原先播放程序,进入快速向前搜索程序。

微控制器的中断系统,能对外部请求和内部定时器/计数器溢出中断请求做出响应。

如图16-13所示是中断过程示意图。从图中可看出,在正常执行主程序中的PC值= $N$ 时,在中断请求进入中断响应,保存 $N+1$ ,中断入口地址送程序计数器(PC),暂时执行中断处理子程序,执行完毕后恢复PC值= $N+1$ 送程序计数器,中断返回到原来被中断的地方( $N+1$ 处),继续执行主程序。

从程序转移的角度来看,中断就是把中断处的PC值暂时保存起来,而代之以中断服务子程序的入口地址,当中断服务子程序处理完毕后,再把程序计数器中原来的PC值送回PC(恢复PC),主程序便继续顺序执行。

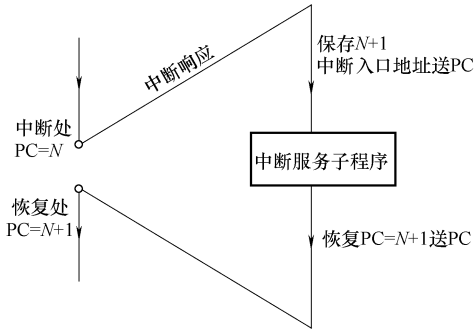


图 16-13 中断过程示意图



#### 重要提示

微控制器中的中断功能,使快速工作的微控制器和慢速的外部设备能够并行工作,使微控制器具有实时控制、随机故障自理能力。对以控制功能为主的微控制器而言,中断功能无疑是非常实用的。

#### 2. 中断五过程

一个完整的中断过程,通常分为5个阶段,如表16-9所示。

表 16-9 完整的中断过程说明

| 名称   | 说 明                                                                                                                                                                                                        |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 中断请求 | 中断请求是中断源(外部或内部)向CPU发出中断的请求。外部设备发出中断请求信号必须具备以下几个条件:<br>(1)外部设备工作已告一段落,才可向CPU发出中断请求<br>(2)系统允许该外部设备发出中断请求,否则应将外设屏蔽,虽然该外部设备准备工作已经完成,也不能发出中断请求                                                                 |
| 中断排队 | 有时会出现多个中断源的中断请求,此时要根据预定程序安排分先后去执行各个中断处理子程序<br>中断请求有时是随机性的,有时会出现多个中断源同时提出中断请求的情况。但CPU每次只能响应一个中断源的请求,应根据中断源工作性质的轻重缓急(在软件设计时已经确定),安排一个优先顺序,这就是中断排队<br>CPU首先响应优先级最高的中断源的中断请求,这一中断处理完毕后,再响应中断级别稍低的中断源的中断请求,同理类推 |





(续)

| 名称   | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 中断响应 | 中断响应就是如何找到中断服务子程序入口地址的过程,这个过程是硬件和软件的有机配合过程<br>在允许中断的情况下,CPU 每执行完一条指令,在开始执行下一条指令前,首先查询有无中断请求<br>当确有中断请求时,CPU 向请求中断的外部设备发出中断响应信号,同时自动关闭中断,以禁止接收另外的中断请求,同时也中止现行程序的执行,转向执行中断服务子程序                                                                                                                                                                |
| 中断处理 | 它包括保护断点和保护现场两部分,是为了执行完中断处理子程序后能够返回中断前状态<br>中断处理主要是下列两个方面:<br>1) 保护断点。保护断点就是保护程序计数器(PC)的当前 PC 值(断点地址),将当前 PC 值压入堆栈,以便中断处理完毕后,能返回到原处继续执行主程序<br>2) 保护现场。在中断服务子程序中也可能要用到累加器(A)和一些寄存器,为了不影响主程序的正常运行,在断点处累加器(A)和一些寄存器的内容和标志位的状态等现场数据也需要暂时保存起来,这就是保护现场<br>中断服务子程序的入口地址送程序计数器(PC),使程序转移到相应外部设备的中断处理程序,并执行。当存在多个中断源时,相应每一个中断源有一个中断服务子程序,它们的入口地址都是不一样的 |
| 中断返回 | 它就是恢复断点和现场。中断返回有下列三个部分:<br>1) 中断服务子程序执行完毕后,在返回主程序前,要把保护起来的断点处的 PC 值、累加器(A)和一些寄存器的内容以及状态标志等恢复。这称为恢复断点和现场<br>2) 撤消已服务完毕的中断请求信号,以免该中断请求信号再次进入中断<br>3) 打开中断。从中断返回主程序前,应将中断打开(因为在执行中断服务子程序时已经关闭了中断,此时不能接收中断请求),以便 CPU 能随时响应新的中断请求                                                                                                                 |

★16.3.5 子程序调用与返回、堆栈

1. 子程序调用与返回

子程序通常用于实现某种通用的算法，它是一个可以公共使用的程序段。一个子程序可以被主程序多次调用，对于程序中多次用到的重复操作或运算，可以设置一个子程序。子程序的调用和中断都是打断主程序的顺序执行，转向去执行一段子程序，然后再返回主程序继续执行。子程序调用是在主程序中预先安排的，什么时候发生是可以预期的，而中断的发生则是随机性的，不可预期的。

在主程序调用了子程序后，被调用的子程序又调用另一个子程序，这称之为子程序嵌套。

每调用一次子程序，都必须把该子程序的返回地址和现场保护起来，而在子程序结束前恢复返回地址和现场。

2. 堆栈

所谓堆栈是用来暂时存放数据的寄存器或存储单元。

在 CPU 响应中断或调用子程序时，需要把断点处的 PC 值以及现场的一些数据保护起来，它们就保存在堆栈中。当发生中断嵌套或子程序嵌套时，要把各级断点处的 PC 值以及一些现场数据都要保护起来，为了保证逐级正确返回，堆栈是按照“先进后出、后进先出”方式工作的。



重要提示

关于微控制器工作过程主要说明下列几点：

- 1) 微控制器执行一条完整的指令必须经过取指令、分析指令和执行指令三个过程。微控制器中的每条指令都存放在专门的存储器（ROM）中。
- 2) 程序有指令序列组成。程序的执行过程就是执行指令序列的过程，也就是周而复始地进行取指令、执行指令的过程。
- 3) 程序的执行种类分为 4 种：一是从零地址开始执行，二是从中间某一给定地址开始执行，三是顺序执行，四是非顺序执行。
- 4) 程序的执行中需要去控制微控制器的外部电路，其控制方式有两种：一是直接控制方式，二是间接控制方式。前者电路结构简单，但不能用来直接控制数目较多的执行部件，因为这会占用微控制器的许多输出接口。间接控制方式与直接控制方式相反，它通过一个控制器，微控制器控制这一控制器，再用这一控制器去直接控制执行部件，这样可省去微控制器的许多输出接口，这种间接控制方式能够控制数目很多的外部执行部件。

5) 中断是微控制器中的一种重要功能,它能够使微控制器的控制功能更大完善。所谓中断就是在正常执行程序过程中,暂时停止执行这一主程序,转而去执行另一个更加紧急的程序。

6) 中断有 5 个阶段:一是中断请求,二是中断排队,三是中断响应,四是中断处理,五是中断返回。

## 16.4 微控制器集成电路主要引脚外电路分析

这里主要讲解微控制器集成电路的主要引脚外电路。

### ★16.4.1 微控制器集成电路电源引脚电路

微控制器集成电路的电源引脚一般有三根,采用单一的 +5V 直流电压供电。

#### 1. 主电源引脚 ( $U_{CC}$ )

微控制器集成电路的主电源引脚一般用  $U_{CC}$  表示,其直流电压是 +5V,这一直流电压给微控制器集成电路内部的单元电路供电。

#### 2. 编程电源引脚 ( $U_{DD}$ )

编程电源引脚一般用  $U_{DD}$  表示,它是专用给读/写存储器 (RAM) 供电的。

#### 3. 接地引脚 ( $U_{SS}$ )

接地引脚一般用  $U_{SS}$  表示,它是微控制器集成电路内电路中各单元电路的总地线,用来接外电路中的地线。

### ★16.4.2 微控制器集成电路 9 种外接振荡元件引脚电路

#### 1. 9 种外接振荡元件引脚电路

微控制器集成电路少不了外接振荡元件,因为微控制器工作中不可缺少时钟脉冲信号。微控制器集成电路的外接振荡元件引脚有多种情况,这里列举微控制器集成电路 9 种外接振荡元件引脚电路。

1) 电路之一。如图 16-14 所示是外接振荡元件引脚电路之一。这是具有两根振荡元件引脚的电路。电路中,  $X_1$  是晶体,它接在集成电路  $A_1$  的①脚和②脚之间,在集成电路  $A_1$  的内电路中设有一个反相器电路,这一反相器电路与外接的  $X_1$  和  $C_1$ 、 $C_2$  构成一个振荡器电路,其振荡频率主要由晶体  $X_1$  决定,电容  $C_1$  和  $C_2$  对振荡频率略有影响,可以起到对振荡频率的微调作用。

电路中,①脚是振荡信号输出端,②脚是振荡信号输入端。

2) 电路之二。如图 16-15 所示是外接振荡元件引脚电路之二。这是另一种形式的电路,这一电路中多了一只电路  $R_1$ 。电路中,①脚是振荡信号输入端,②脚是振荡信号输出端。如果时钟信号采用外接方式时,将②脚外电路断开,外部的时钟信号从①脚输入到集成电路  $A_1$  的内电路中。

3) 电路之三。如图 16-16 所示是外接振荡元件引脚电路之三。这是另一种形式的电路,这一电路的特点是在晶体  $X_1$  上并联了一只电阻,实际上该电阻在许多电路中是设置在集成电路  $A_1$  内电路中的。

4) 电路之四。如图 16-17 所示是外接振荡元件引脚电路之四。这是另一种形式的电路,该电路特点是电容  $C_1$  和  $C_2$  不是直接接地,而是接在直流电源 +  $U_{CC}$  端。

由于直流电源端对交流而言是等效接地的,所以对交流 (振荡信号) 而言,电容  $C_1$  和  $C_2$  仍然是一端接地的,其振荡电路的工作原理同前面几种一样。

5) 电路之五。如图 16-18 所示是外接振荡元件引脚电路之五。这是另一种形式的电路,该电路的特点是电容  $C_1$  和  $C_2$  连接起来后接在集成电路  $A_1$  的③脚,集成电路  $A_1$  的③脚在内电路中与接

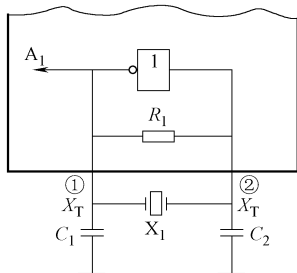


图 16-14 外接振荡元件引脚电路之一

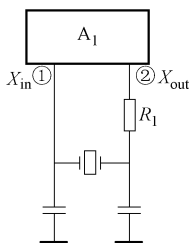


图 16-15 外接振荡元件引脚电路之二

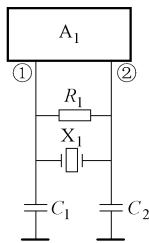


图 16-16 外接振荡元件引脚电路之三

地引脚④脚相连，这样  $C_1$  和  $C_2$  的一端还是相当于接地的。

6) 电路之六。如图 16-19 所示是外接振荡元件引脚电路之六。这是另一种形式的电路，该电路的特点是电路中没有电容  $C_1$  和  $C_2$ 。

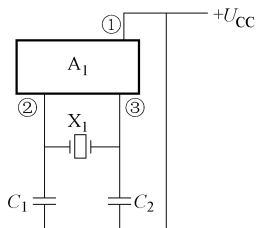


图 16-17 外接振荡元件引脚电路之四

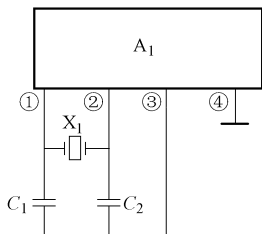


图 16-18 外接振荡元件引脚电路之五

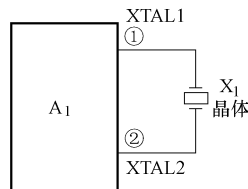


图 16-19 外接振荡元件引脚电路之六

电路中，引脚 XTAL1 是内部振荡器的外接晶体输入端，这一引脚也用来直接接入外部振荡源电路的输出，也就是外部时钟脉冲源的输入端。XTAL2 是内部振荡器的输出端，用来外接晶体的另一端。

7) 电路之七。如图 16-20 所示是外接振荡元件引脚电路之七。这是单根引脚的电路，从图中可看出，电路中只有一根引脚用来外接晶体  $X_1$ ，图 16-20a 和图 16-20b 所示电路不同之处是，一个  $X_1$  串接有电阻  $R_1$ ，一个则没有这一电阻。

8) 电路之八。如图 16-21 所示是外接振荡元件引脚电路之八。这是采用  $RC$  元件构成的电路。电路中， $RP_1$  是一个可变电阻器， $RP_1$ 、 $C_1$  和集成电路  $A_1$  的①脚、②脚内电路一起构成振荡器。

这种电路中，振荡频率由电阻  $RP_1$  和电容  $C_1$  参数决定，调整  $RP_1$  的阻值可以改变该振荡器的振荡频率。

这种电路由于没有采用晶体作为振荡元件，所以振荡性能不够理想。

9) 电路之九。如图 16-22 所示是外接振荡元件引脚电路之九。这是一种采用  $LC$  元件构成的电路。电路中，电感  $L_1$ 、电容  $C_1$ 、 $C_2$  和集成电路  $A_1$  的①脚、②脚内电路一起构成振荡器电路。

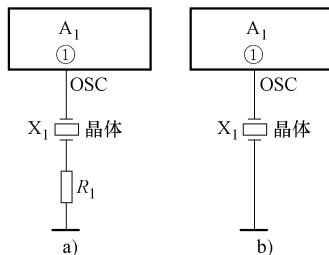


图 16-20 外接振荡元件引脚电路之七

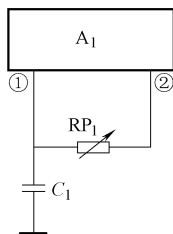


图 16-21 外接振荡元件引脚电路之八

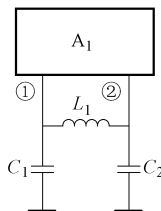


图 16-22 外接振荡元件引脚电路之九

这种电路中, 振荡频率由电阻  $L_1$  和电容  $C_1$  参数决定, 这种电路的性能也不够理想。



#### 重要提示

关于微控制器集成电路中的外接晶体元件引脚外电路主要说明下列几点:

- 1) 各种微控制器集成电路中都有外接振荡元件引脚, 上述几种电路情况基本包括了所有的情况。
- 2) 有的微控制器集成电路本身不设时钟振荡器, 在系统控制电路中有一个专门的时钟脉冲发生器集成电路, 它所需要的时钟脉冲信号是通过这一专门时钟电路供给的, 此时微控制器集成电路中只设一个时钟信号输入引脚即可。
- 3) 在各种微控制器集成电路中, 用来表示外接振荡元件引脚的符号是不同的, 这里小结如下, 供分析微控制器集成电路时使用。它们是 XTA1、XTA2; XTAL1、XTAL2; EXTAL、XTAL; OSC1、OSC2; OSCIN、OSCON; XI、XO; XI、XO 和  $\overline{X}_T$ 、 $X_T$ 。

### ★16.4.3 微控制器集成电路复位引脚电路

#### 1. 复位概念和复合电路功能

微控制器中的 CPU 在开始运行之前, 对内部各部分电路的状态有一定要求, 也就是必须建立初始条件, 没有这些初始条件微控制器是不能正常工作的。复位就是建立初始化条件的一种工作方式, 它是通过复位信号输入 RESET 引脚来实现的。

复位所完成的操作完成后, 微控制器有关部件所处状态 (或称为微控制器必须建立的初始条件) 主要有: 程序计数器 (PC) 清零, 栈指针 (SP) 清零, 选择寄存器区 0, 选择存储区 0, 置总线为高阻状态, 定时器停止工作等。

#### 2. 三种情况需要复位

- 1) 机器电源接通时。微控制器集成电路所需要的稳定 +5V 直流电压不会很快建立, 此时集成电路内部的各单元电路还没有进入正常工作所必须的初始条件, 微控制器电路会出现误动作, 这时需要复位。
- 2) 机器电源切断时。这时也会出现上述类似情况, 必须使微控制停止工作。
- 3) 机器工作过程中。由于某种原因使微控制器的工作进入混乱状态, 需要重新进入正常工作, 也需要复位电路。

#### 3. 复位电路基本工作原理

如图 16-23 所示电路可以说明复位原理。电路中的  $A_1$  是 CPU 集成电路, ①脚是复位引脚, 一般用  $\overline{REST}$  表示, ①脚内电路和外电路中元件构成复位电路,  $S_1$  是手动复位开关。

集成电路  $A_1$  的①脚内电路有一个斯密特触发器和一个提拉电阻  $R_1$ , 电阻  $R_1$  一端接在直流电压 +V 上, 另一端通过  $A_1$  的①脚与外电路中的电容  $C_1$  相连。

机器的电源开关接通后, +5V 直流电压通过电阻  $R_1$  对电容  $C_1$  充电, 这样在电源接通瞬间电容  $C_1$  两端没有电压 (因为电容两端的电压不能突变), 随着对电容  $C_1$  的充电, 集成电路  $A_1$  的①脚上有升高的电压, 这样可在  $A_1$  的①脚上产生一个时间足够长的复位脉冲, 时间常数一般为 0.2s。在这一段时间里, 集成电路  $A_1$  内部所有电路均可建立起初始状态。

随着 +5V 直流电压的充电进行,  $A_1$  的①脚上电压达到了一定程度, 复位工作完成, CPU 进入初始的正常工作状态。

这一复位电路的目的就是要使集成电路  $A_1$  的复位引脚上直流电压的建立滞后于集成电路  $A_1$  的 +5V 直流工作电压一段规定的时间, 如图 16-24 所示是复位引脚上直流电压波形, 用这一电压波

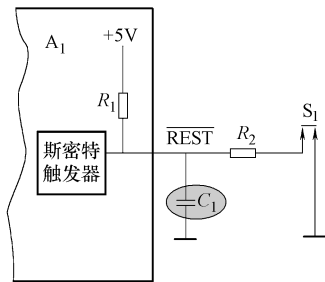


图 16-23 复位原理



形可以方便地说明复位原理。

从波形中可看出,在电源接通后,集成电路  $A_1$  的直流工作电压上升有一个过程,而复位引脚上的直流电压更要滞后,这样微控制器中 CPU 才能进入初始工作状态。所以,复位电路就是要使复位引脚上的直流电压滞后一段时间。

手动复位电路的工作原理是这样:当按一下复位开关  $S_1$  (按钮开关) 时,在  $S_1$  接通期间,电容  $C_1$  中电荷通过电阻  $R_2$  和导通的  $S_1$  很快放电完毕,使  $C_1$  中没有电荷,也就是集成电路  $A_1$  的①脚电压为 0V,此时 CPU 停止工作。

在释放按钮后,  $S_1$  断开了, +5V 直流电压通过提拉电阻  $R_1$  对电容器  $C_1$  充电,使集成电路  $A_1$  的①脚上电压有一个缓慢上升过程,这样可以达到复位的目的。

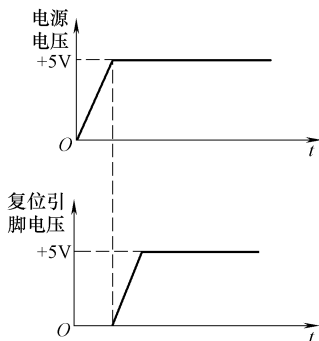


图 16-24 复位引脚上直流电压波形

#### 4. 外部复位脉冲复位电路工作原理

如图 16-25 所示是外部复位脉冲复位电路。电路中的  $A_1$  是微控制器集成电路,①脚是复位引脚, F 是一个非门电路。当给非门输入一个高电平脉冲时,非门输出低电平,使  $A_1$  的复位引脚处于低电平状态。

只要输入非门电路的复位脉冲足够的宽,①脚保持低电平的时间足够长,就能完成复位过程。在非门电路输入端的复位脉冲消失后,非门输出高电平,即  $A_1$  的①脚为高电平,此时微控制器进入了正常工作状态。

#### 5. 5 种实用复位电路

1) 复位电路之一。如图 16-26 所示是微控制器中的一种实用复位电路。电路中, A105 是机心微控制器集成电路, A101 是主轴伺服控制和数字信号处理集成电路, A104 是伺服控制集成电路。

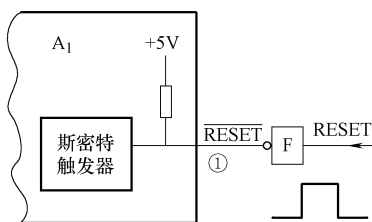


图 16-25 外部复位脉冲复位电路

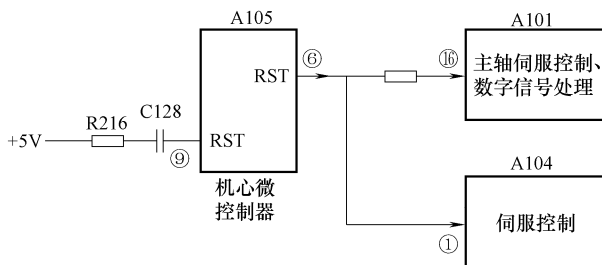


图 16-26 微控制器实用复位电路之一

这一电路的工作原理是这样:在电源接通后, +5V 直流电压通过电阻  $R_{216}$  和电容  $C_{128}$  加到集成电路 A105 的复位信号输入引脚⑨脚,开机间由于电容  $C_{128}$  两端的电压不能突变,所以 A105 的⑨脚上是高电平,随着 +5V 直流电压对  $C_{128}$  的充电进行,使⑨脚电压下降。

由此可见,加到集成电路 A105 的复位引脚⑨脚上的复位触发信号是一个正脉冲。这一正脉冲复位信号经集成电路⑨脚内电路反相处理,使内电路完成复位,这一复位电路的原理同上面介绍的第二种复位电路相同。



#### 重要提示

这一复位电路在使集成电路 A105 复位的同时,  $A_1$  的⑥脚还输出一个低电平复位脉冲信号,分别加到集成电路 A101 的复位信号输入端⑩脚和加到集成电路 A104 的复位信号输入端①脚,使 A101 和 A104 两个集成电路同时复位。

2) 复位电路之二。如图 16-27 所示是微控制器中的另一种实用复位电路。电路中,  $A_1$  是微控制器集成电路,其⑫脚是电源引脚,⑬脚是复位引脚。



这一电路的工作原理是这样：在电源开关接通后，+5V 直流电压给集成电路  $A_1$  的电源引脚④脚供电，当电源开关刚接通时，+5V 电压还没有上升到稳压二极管  $VS_1$  的击穿电压，所以  $VS_1$  处于截止状态，此时  $VT_1$  管截止，这样 +5V 电源电压经电阻  $R_3$  加到  $VT_2$  管基极，使  $VT_2$  管饱和导通，其集电极为低电平，即使集成电路  $A_1$  的复位引脚③脚为低电平。

随着 +5V 电压升到稳定的 +5V 后，这一电压使稳压二极管  $VS_1$  击穿，导通的  $VS_1$  和  $R_1$  给  $VT_1$  管基极加上足够的直流偏置电压，使  $VT_1$  饱和导通，其集电极为低电平，这一低电平加到  $VT_2$  管基极，使  $VT_2$  管处于截止状态，这样 +5V 电压经电阻  $R_4$  加到复位引脚③脚上，使③脚为高电平。

通过上述分析可知，在电源开关接通后，复位引脚③脚上的稳定直流电压建立滞后一段时间，这就是复位信号，使集成电路  $A_1$  内电路复位。

断电后，电容  $C_1$  充到的电荷通过二极管  $VD_2$  放电，因为在断电压  $C_1$  上的电压为上正下负，+5V 端相接于接地， $C_1$  上的充电电压加到  $VD_2$  上是正向偏置电压，使  $VD_2$  导通放电，将  $C_1$  中的电荷放掉，以供下一次开机时能够起到复位作用。

3) 复位电路之三。如图 16-28 所示是微控制器中的另一种实用复位电路。电路中， $A_1$  是微控制器集成电路，其④脚是电源引脚，②④脚是复位引脚， $VD002$  是稳压二极管， $VT002$  是 PNP 型晶体管。

这一电路的工作原理是这样：当电源开关刚接通时，+5V 电压还没有上升到稳压二极管  $VS_1$  的击穿电压，所以  $VS_1$  处于截止状态，此时 +5V 电压通过  $R002$  和  $R003$  加到  $VT002$  管基极，使  $VT002$  管截止，其集电极输出低电平，这一低电平加到集成电路  $A_1$  的复位引脚②脚上。

当 +5V 电压上升到稳定的 +5V 电压时，这一直流电压通过  $R002$  使稳压二极管  $VS_1$  击穿，这样为  $VS_1$  管基极提供了基极电流回路，即  $VT002$  基极电流回路为 +5V→ $VT002$  管发射极→ $VT002$  管基极→ $R003$ →导通的  $VS_1$ →地端，这时  $VT002$  管饱和导通，其集电极为高电平，这一高电平加到复位引脚②④，即此时复位引脚为高电平。

从上述电路可知，集成电路  $A_1$  的复位引脚电压滞后一段时间，起到复位的作用。

4) 复位电路之四。如图 16-29 所示是微控制器中的另一种实用复位电路。电路中， $A_1$  的②④脚是电源引脚，②③脚是复位引脚， $VS_1$  是稳压二极管。

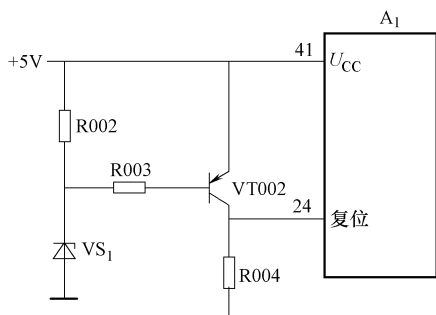


图 16-28 微控制器实用复位电路之三

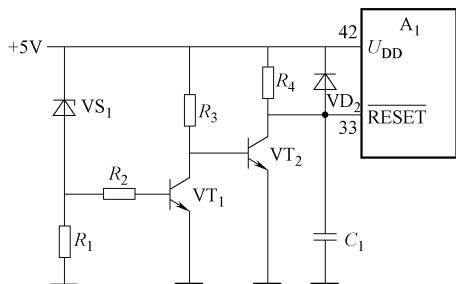


图 16-27 微控制器实用复位电路之二

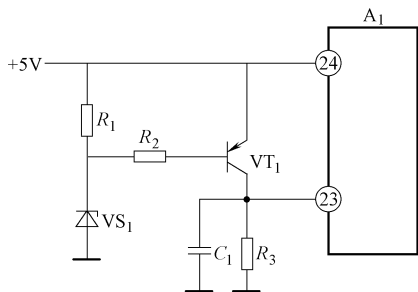


图 16-29 微控制器实用复位电路之四

这一电路的工作原理与前面一种电路基本相同，不同之处是电路中多了一只电容  $C_1$ ，它的作用可进一步延迟在开机时②脚的电压上升速度，使复位更加可靠些。

电阻  $R_3$  是电容  $C_1$  的泄放电阻，在机器关机后，电容  $C_1$  中的电荷通过电阻  $R_3$  泄放，以供下一次开机时起复位作用。

5) 复位电路之五。如图 16-30 所示是微控制器中的另一种实用复位电路。电路中， $A_1$  是微控





制器集成电路，其③脚是复位引脚， $VD_1$  是二极管。

这一电路的工作原理是这样：开机时，+5V 直流电压通过电阻  $R_1$  对电容  $C_1$  充电，使  $A_1$  的复位引脚③脚电压为低电平，随着充电电压进行，③脚直流电压升高，当③脚上直流电压高到一定程度时，复位完成。

关机后，电容  $C_1$  中的电荷通过二极管  $VD_1$  放电，由于  $C_1$  上的充电电压对  $VD_1$  而言是正向偏置，所以  $VD_1$  导通，导通的  $VD_1$  其内阻相当小，所以放电很快结束，以为下次开机做好准备。

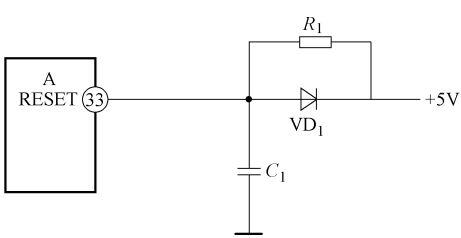


图 16-30 微控制器实用复位电路之五

**重要提示**

- 关于复位电路主要说明下列几点。
- 1) 微控制器中的复位电路是一个重要的电路，它的工作是否正常直接关系到微控制器能否正常工作，微控制器工作混乱的故障原因之一是复位电路不能正常工作。
  - 2) 在微控制器集成电路中，有一根复位引脚，该引脚用来外接复位电路，或输入外部的复位触发信号。集成电路中复位引脚的标注有几种情况：标注  $\overline{\text{RESET}}$ 、RESET、RET 和用中文标注“复位”。
  - 3) 加到复位引脚的复位信号可以低电平复位信号，也可以是高电平复位信号，前者情况多些。在正常情况下，若复位引脚标注成  $\overline{\text{RESET}}$ ，这说明该引脚输入的复位信号是低电平复位信号，若标注成 RESET（没有非号）则说明是高电平复位触发信号。但是，由于许多电路图都没有按照这一要求去标注，所以不能只根据这一标注来判断复位信号的电平情况。
  - 4) 复位信号是高电平还是低电平从复位引脚外电路工作原理中可以分析出来。
  - 5) 电子电器微控制器集成电路中的复位电路一般都是自动复位电路，在机器电源开关接通时进行复位，手动复位电路的情况很少。
  - 6) 由于复位电路在开机使用一次后，必须关机后一段时间后才能进行第二次复位，所以刚关机就立即开机，复位电路将无法正常工作，微控制器也无法进行正常工作。
  - 7) 除微控制器中有复位电路之外，在红外遥控电路也有这样的电路。

★16.4.4 微控制器集成电路其他引脚

在微控制器集成电路中还有许多引脚，各种专用控制功能的微控制器集成电路的引脚功能不同，下面先简单介绍几种比较通用的引脚，有些引脚的功能和外电路将在后有关章节中详细介绍。

1. 输入控制线（引脚）

一般输入控制线（引脚）有多种，如表 16-10 所示，输入控制线主要用于控制测试、中断、单步执行等功能。

表 16-10 输入控制线（引脚）说明

| 名称                           | 说 明                                                                                                                       |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TO 输入引脚                      | 该引脚为可测试输入引脚，也可作时钟信号输出端，也可作为编程方式的控制端                                                                                       |
| TI 输入引脚                      | 该引脚为可测试输入端，也可作为定时器/计数器以计数方式工作时的外部事件计数输入端                                                                                  |
| EA 输入引脚                      | 该引脚是外部程序存储器存取控制输入线。EA 为高电平时，强迫全部程序存储器均对外部程序存储器取指                                                                          |
| $\overline{\text{SS}}$ 输入引脚  | 该引脚是单步控制输入引脚，所谓单步控制输入就是利用它可控制 CPU 一步一条指令地执行程序，并输出指令的地址，这给用户提供了调试手段。 $\overline{\text{SS}}$ 为低电平有效                         |
| $\overline{\text{INT}}$ 输入引脚 | 该引脚是外部中断请求输入信号引脚，低电平为有效。在允许中断时， $\overline{\text{INT}}$ 将启动中断，复位后处于禁止中断状态。在禁止中断时， $\overline{\text{INT}}$ 可作检测输入端，以进行判跳操作 |



2. 输出控制线（引脚）

微控制器集成电路的输出控制线（引脚）也有多条，如表 16-11 所示，它们的作用主要是控制对外扩存储器和扩展器与微控制器同步工作。

表 16-11 输出控制线（引脚）说明

| 名称                            | 说 明                                                                             |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| ALE 输出引脚                      | 该引脚是地址锁存使能信号输出引脚。在 ALE 的下降沿,锁存总线上的地址码。微控制器工作时 ALE 信号每个机器周期出现一次,因此 ALE 信号可作为时钟输出 |
| $\overline{\text{PSEN}}$ 输出引脚 | 该引脚是外部程序存储器选通有效信号输出引脚。此信号有效 $\overline{\text{PSEN}}=0$ ,这表明微控制器对外部程序存储器进行了一次读取  |
| $\overline{\text{RD}}$ 输出引脚   | 该引脚是读控制信号输出引脚,该引脚输出低电平时有效,该引脚用于对外扩存储器或外部设备的读操作控制                                |
| $\overline{\text{WR}}$ 输出引脚   | 该引脚是写控制信号输出引脚,该引脚为低电平时有效,该输出引脚用于外扩数据存储器或外部设备进行写操作控制                             |
| PROG 引脚                       | 当外接输入/输出接口电路时,该引脚作为输出选通信号输出引脚                                                   |

3. 通用输入/输出接口线（引脚）

如表 16-12 所示是通用输入/输出接口线（引脚）说明。

表 16-12 通用输入/输出接口线（引脚）说明

| 名称      | 说 明                                                                                                                                 |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 接口电路    | 微控制器是一种高速部件,可是它的外部设备一般都是慢速部件,两者的工作速度相差很大,要使两者协调一致地工作,接口电路少不了,接口电路是连接微控制器和外部设备的专口电路                                                  |
| P1 口引脚  | P1 口有多位,所以 P1 引脚是一组(多位)。这是准双向输入/输出接口,允许对它独立定义                                                                                       |
| P2 口引脚  | P2 口也有多位,所以 P2 引脚是一组(多位)。P2 口引脚除具有输入/输出接口功能外,其中的部分引脚还提供外部程序存储器的高 4 位地址                                                              |
| BUS 口引脚 | 这是一个多位双向总线引脚,又称 PO 口。当无外部扩展存储器或接口设备时,可作双向输入/输出口使用,输出锁存,输入缓冲。当有外部扩展存储器时,提供地址/数据多路切换信息,提供程序存储器低 8 位地址和读取指令码,或提供读/写外部数据存储器信息、输入/输出口地址等 |

16.5 存储器基础



重要提示

存储器是微控制器的一个重要组成部分，是微控制器的记忆部件。

寄存器也是一种具有记忆功能的电路，但是它与存储器并不相同。寄存器所能存储的信息与存储器相比，实在是太少了，而且寄存器与存储器相比很简单。

微控制器中的存储器为半导体存储器。存储器除了半导体存储器之外还有许多种，如磁心存储器、磁盘（软盘和硬盘）等，在微控制器中只用半导体存储器，这种存储器又称为内存储器，磁盘、磁带等称为外存储器。

在民用电路的微控制器中，都有半导体存储器的存在。

在微控制器中，指挥微控制器工作的众多程序和需要处理的许许多多数据都是存储在存储器中的，正是这样使得微控制器能够脱离人的直接干预快速而自动地工作成为了现实。

★16.5.1 名词解析

在详细介绍存储器之前，先介绍两个与存储器有关的概念：一是存储容量，二是存取速度。

1. 存储容量

存储容量（Memory capacity）就是存储器能够存储信息的总量。



存储器是由许许多多能够记忆信息的元件组成。这种记忆元件的数量越多，存储器记忆信息量也就越大。通常，表示存储器存储容量的方式有下列两种。

- 1) 一种是存储容量 = 存储单元数（所能记忆的字数）× 字长，例如存储器有 4096 个存储单元，字长为 8 位，则该存储器的存储容量为 4k 字节。
- 2) 另一种以存储器所能记忆的全部二进制信息量直接表示。例如，上述的 4k 字节的存储容量可表示为  $4k \times 8 = 32k$  位（每字节为 8 位）。

在这种表示方式中，为方便起见，将 1024 个存储单元用 1k 表示。  
存储器存储的容量越大，其微控制器的控制能力就越强，使用也越方便。

2. 存取速度

存储器中的信息可以取出来，也可以将有关信息存入存储器中，存储器存入信息的时间或从存储器取出信息所需要的时间称为存取速度。

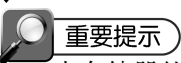
存储器存取速度越快，就是存储器存取时间（Access time）越短，微控制器的运行的速度也就越快。

★16.5.2 存储器种类

存储器总体上可以分成两类：一是内存储器，简称内存。二是外存储器，简称外存。

1. 内存储器

所谓内存就是与微控制器紧密相连的存储器，从电脑角度上讲就是设在计算机机箱内部的存储器（内存条），从民用电器中的微控制器上讲就是与微控制器集成电路在电路板上直接相连的存储器集成电路。



内存储器的特点是存取的速度很快，与 CPU 和处理速度同步、相适应，但是它的存储容量与外存储器相比很小。

2. 外存储器

在民用电器的微控制器中不用外存储器。外存储器是电脑中的硬盘、软盘，外存储器一般不与 CPU 直接打交道，而是与内存储器直接交换信息。外存储器的特点是存取速度比较慢，但是存储容量非常大。

★16.5.3 半导体存储器种类

对半导体存储器的分类有多种方法，如表 16-13 所示。

表 16-13 半导体存储器分类方法

| 名称        | 说 明                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 按功能分类     | <p>存储器按使用功能可以分为下列两大类：</p> <p>(1) 读写（随机）存储器（RAM）。所谓“写”就是把指令和数据存入存储器中的操作叫作“写入”，简称写。把指令和数据存储器取出来叫作“读出”，简称读。读写存储器的特点是既能够随时从存储器中读出信息，又能随时将信息写入存储器</p> <p>(2) 只读存储器（ROM）。这种存储器在一次性写入后，就只能反复地读出信息，一般情况就不能将信息写入其中了</p>                       |
| 按电路制造工艺分类 | <p>存储器按电路制造工艺（或称按照结构）可以分为下列两大类：</p> <p>(1) 双极型存储器。这种类型的存储器一般采用 TTL 或 ECL 电路组成，其优点是存取速度快、价格低，缺点是制造工艺复杂、集成度低、功耗大，由于缺点较多，实际应用不多</p> <p>(2) 单极型存储器，它又称为 MOS 型（采用 MOS 器件构成电路）。这种存储器的优点是功耗小、集成度高，缺点是存取速度略低。微控制器系统中使用的存储器绝大部分为 MOS 型存储器</p> |



(续)

| 名称        | 说 明                                                                                                                                                                                                      |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 按信息传输方式分类 | 存储器按信息的传输方式分有下列两种：<br>(1) 并行存储器<br>(2) 串行存储器                                                                                                                                                             |
| 按信息保存方式分类 | 存储器按信息保存方式分类有下列两种：<br>(1) 挥发性存储器和非挥发性存储器。所谓挥发性存储器就是一断电，存储器内存储的信息全部丢失所谓非挥发性存储器就是断电后，存储器内部存储的信息仍然保留在其中<br>(2) 静态存储器和动态存储器。所谓静态存储器，在通电状态下，只要不写入新的内容，原信息始终保留在其中，且不变，供读取<br>所谓动态存储器，所存储的信息随时间而衰减，必须不断定时刷新(重写) |
| 按读出特性分类   | 存储器按读出特性分类有下列两种：<br>(1) 非破坏性读出存储器，这种存储器中的信息被读出后，存储器中信息仍然被保留在其中<br>(2) 破坏性读出存储器，这种存储器中的信息一旦被读出后，存储器中信息就被破坏，必须对存储器进行原信息的重写(再生)                                                                             |

★16. 5. 4 半导体存储器结构

1. 半导体存储器组成框图

如图 16-31 所示是半导体存储器的结构框图，从图中可看出，半导体存储器主要有下列三个部分组成。

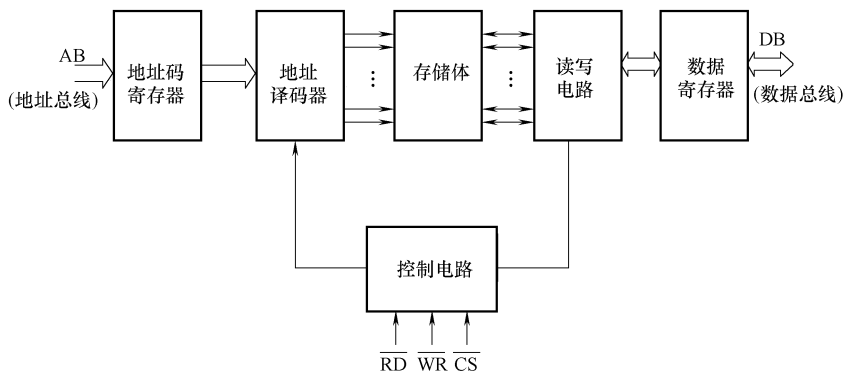


图 16-31 半导体存储器结构框图

- 1) 存储体。它用来记忆二进制数码的实体，所以有信息都是存储在存储体中的。
- 2) 地址译码电路。一个半导体存储器中的存储单元成千上万，为了方便地使用这些存储单元，得给它们编上号，这就是地址。地址译码电路就是根据地址信息，找到所对应的存储单元。地址译码电路由地址码寄存器和地址译码器两部分组成。
- 3) 读写控制电路。读写控制电路是用来控制对半导体存储器进行读操作或写操作的电路。

2. 存储体

如图 16-32 所示是存储体构成的示意图。若干个基本存储单元构成一个存储单元，基本存储单元是存储实体的最小存储单位，它只能记忆一位的二进制数码，即 0 或都是 1。

若干个基本存储单元（例如 8 个）构成一个存储单元，一个存储单元可以记忆一个字长的信息，如可记忆 8 位二进制码，能够记忆一个字长的单元称为一个存储单元。在一个存储实体中，有许多个存储单元，有更多的基本存储单元，基本存储单元排列成有规律的矩阵。

3. 地址译码电路

从图中可看出，来自地址总线的地址码，首先加到地址寄存器中暂存，然后通过地址译码器将



地址码译出, 变成相应存储单元上选择线的有效位信号, 这样就能找出地址码所指定的存储单元, 可以进行该单元的信息存取操作了。

根据地址多少的不同, 运用地址译码器的方式也有两种不同的译码方式: 一是单译码方式, 二是双译码方式。

1) 单译码方式。这种译码方式中的译码器只有一个, 译码器的各输出端 (也就是选择线) 直接同各存储单元一一对应, 这种方式电路简单, 但只适合于小容量的存储器使用, 因为当存储器的容量大后, 存储单元数量太多, 使译码器输出端太多, 造成集成电路的布线太多。

2) 双译码器方式。双译码器方式中采用两个译码器: 一个是 X 译码器, 二是 Y 译码器。如图 16-33 所示是双译码方式示意图。

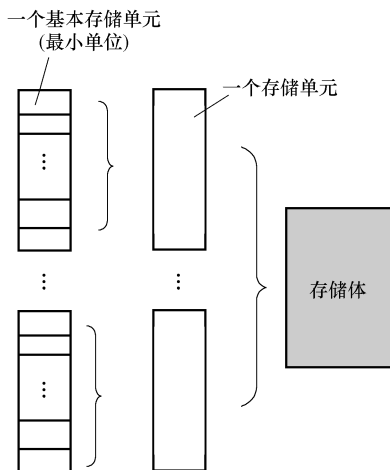


图 16-32 存储体构成示意图

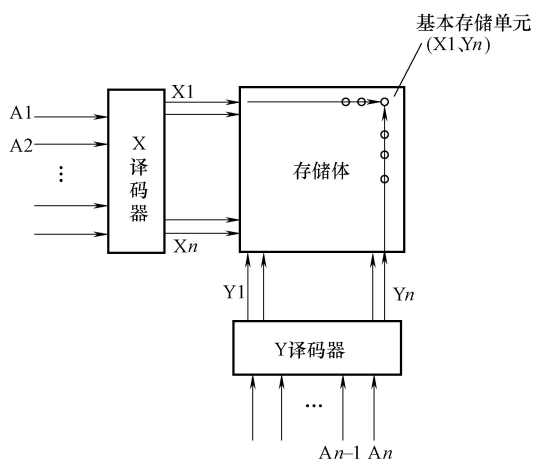


图 16-33 双译码器方式示意图

在这种译码方式中, 某一个存储单元共有 X、Y 两条选择线。X 选择线又称为行选择线, Y 选择线又称为列选择线。在这种译码方式中, 只有 X 和 Y 选择线同时选中该存储单元时, 该存储单元才能进行读写操作。例如,  $X_1$  选择线和  $Y_n$  选择线同时选中的  $X_1$ 、 $Y_n$  存储单元, 见图中所示。

这种译码方式中, 行选择线和列选择线都只能有一条为高电平, 其余均为低电平, 所以访问存储器时, 只有一个存储单元处于选中状态, 其他的存储单元处于保持状态, 保持原存储的信息不变。



#### 重要提示

采用双译码方式可大大减少选择线的根数, 例如有 1024 个存储单元, 采用单译码方式时就要有 1024 个选择线, 而采用双译码方式中, X 选择线和 Y 选择线各只有 64 根。在大容量存储器中都是采用这种双译码方式。

#### 4. 读写控制电路

在选中的某个存储单元之后, 就要对该存储单元进行读写控制, 读与写对存储单元是不同的操作, 读写控制电路要分开这两种不同的操作。如图 16-34 所示是存储单元的读写控制电路。

电路中, A 和 B 是两个三态门电路, 它们正逆并联后接在数据总线与存储单元之间, 两个三态门的控制端分别由逻辑门 (与门) C 和 D 控制。

$\overline{CS}$  是片选信号,  $\overline{WE}$  为允选信号。当  $\overline{WE}$  为低电平时, 允许信息写入存储单元。当  $\overline{WE}$  为高电平时, 允许信息从存储单

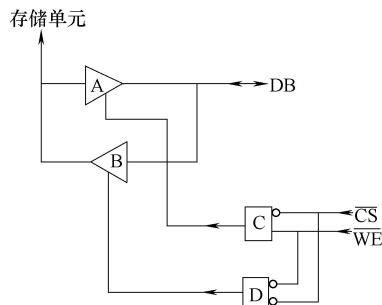


图 16-34 存储单元的读写控制电路





元读出。

这一电路的工作原理是这样：当片选信号  $\overline{CS}$  为低电平时，存储单元才能够进行信息交换，即才可以进行读或写的操作。当片选信号  $\overline{CS}$  为高电平时，所有存储单元均不能够进行信息交换，即都不工作。如表 16-14 所示是片选信号  $\overline{CS}$  为低电平时允选信号  $\overline{WE}$  两种情况下的分析。

表 16-14 片选信号  $\overline{CS}$  为低电平时允选信号  $\overline{WE}$  两种情况下的分析

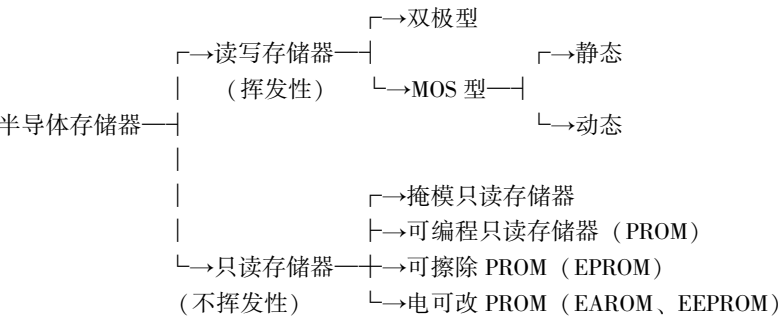
| 名称                                             | 说 明                                                                                               |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\overline{CS}$ 为低电平，<br>$\overline{WE}$ 为高电平时 | 这时与门 C 一个输入端为高电平 1，另一个为低电平 0，此时与门 C 打开，其输出端输出的高电平加到三态门 A，使三态门 A 导通，此时存储单元内的数据通过数据总线 (DB) 被 CPU 读取 |
| $\overline{CS}$ 为低电平，<br>$\overline{WE}$ 为低电平时 | 这时与门 D 两个输入端均为低电平 1，此时与门 D 打开，其输出端输出的高电平加到三态门 B，使三态门 B 导通，此时数据总线 (DB) 传输过来的数据通过导通的三态门 B，被写入存储单元中  |

★16.5.5 识图小结

1. 要点

关于半导体存储器主要说明下列几点：

- 1) 存储器是能够接收和保存数据（包括指令代码），并且能够根据命令提供这些数据的部件。
- 2) 存储器与寄存器不同。存储器通常有一块专门的集成电路构成，而寄存器通常设在某一功能的集成电路内部。
- 3) 存储器是微控制器的重要组成部分，不可缺少。
- 4) 存储器具有记忆功能，它可以用存储器微控制器工作过程中的程序和各种数据等。
- 5) 半导体存储器的综合分类如下：



6) 半导体存储器由三大部分组成。存储器与数据总线、地址总线和控制总线相连，通过这三组总线存储器与 CPU 保持着密切的联系。

7) 存储器的地址寄存器和地址译码器通过地址总线与 CPU 相连，接收地址码，并将地址码译出相应的控制电平，去控制存储单元。存储单元不只是受地址码译出的控制电平控制，还要受到片选信号和允写信号的控制。

8) 存储器的读写控制有两种方式：一是读与写的控制用一条控制线，通过这一控制线高电平和低电平的变化进行读与写的控制。二是读用一条控制线，写再用一条控制线。

2. 主要引脚英文解析

在分析存储器集成电路外电路工作原理时，经常性地遇到各种功能引脚的英文标注，对电路分析造成一定的困难，而且会出现不同资料中对同一功能引脚的标注方式不同，如表 16-15 所示是存储器集成电路有关引脚英文标注。

表 16-15 存储器集成电路有关引脚英文标注

| 英文名称            | 说 明                                                        |
|-----------------|------------------------------------------------------------|
| $\overline{CS}$ | 它为片选信号，非号表示是低电平有效，该信号为高电平时不能进行片选                           |
| $\overline{WE}$ | 它为允写信号，非号表示是低电平有效，即该信号为低电平时可以对存储单元进行写操作。当该信号为高电平时，只能进行读取操作 |



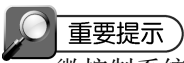


(续)

| 英文名称   | 说 明                                               |
|--------|---------------------------------------------------|
| RAS    | 它为行地址选通信号,为低电平有效。RAS 是英文 Row Addressstrobe 的缩写    |
| CAS    | 它为列地址选通信号,为低电平有效。CAS 是英文 Columnaddress Strobe 的缩写 |
| W      | 它为读写控制信号,高电平为读,低电平为写                              |
| PD/PGM | 它为编程控制信号                                          |
| RD     | 它为读取命令,由 CPU 发出                                   |
| WR     | 它为写命令,由 CPU 发出                                    |
| MRE    | 它为存储器请求命令,由 CPU 发出                                |
| RFSH   | 它为刷新命令,由 CPU 发出                                   |

16.6 随机存储器 (RAM)

随机存储器用英文 RAM 表示, RAM 是英文 Random Access Memory 的缩写。由于这种存储器能够在存储器的任意某一单元进行读或写, 所以又将这种存储器称为读写存取存储器 (Read Write Memory RWM), 或是随机读写存储器。



重要提示

微控制系统中, 随机存储器 (RAM) 用来存放微控制器在运行过程中的现场输入/输出数据、中间运算结果以及用作为堆栈, 随机存储器 (RAM) 中所存储的信息不是永久性的。

★16.6.1 随机存储器 (RAM) 的特性、结构和种类

1. 特性

半导体随机存储器 (RAM) 的特性主要有两点:

1) 随机存储器 (RAM) 属于挥发性的存储器, 当存储器电路断电后, 随机存储器 (RAM) 原先所保存的信息会全部丢失。

2) 随机存储器 (RAM) 能读能写。

2. 结构及工作原理说明

随机存储器 (RAM) 的结构同前面一节介绍的基本存储器结构基本相同, 它主要由地址译码器、读/写控制电路、片选控制和存储矩阵等部分组成, 如图 16-35 所示是典型的随机存储器 (RAM) 结构示意图。

如表 16-16 所示是随机存储器各部分电路工作原理。

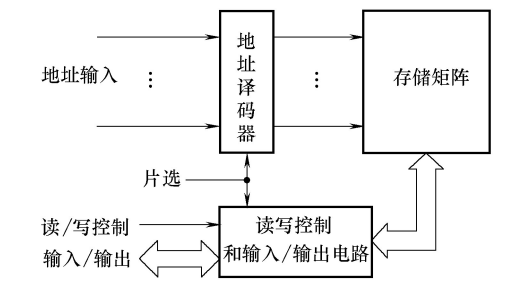


图 16-35 典型的随机存储器 (RAM) 结构示意图

表 16-16 随机存储器各部分电路工作原理

| 名称    | 说 明                                                                                                                                                                                  |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 地址译码  | 存储器的每个存储单元都有地址,每次访存储器只能与存储器中的某一个存储单元发生数据交换,CPU 发出访问存储器中某一存储单元指令后,通过地址译码器找到该指定的存储单元<br>具体地讲,地址译码器将从存储器外部输入的二进制地址码进行译码,在译码器相应的某一条输出线上给出信号,控制被选中的存储单元与存储器输入/输出端接通,以便读出该存储单元的数据或将数据写入该单元 |
| 读/写控制 | 访问随机存储器(RAM)时,对于被选中地址的存储单元,是进行写入操作还是读出操作,这由读/写控制线进行控制<br>有的随机存储器(RAM)的读/写控制线为高电平读、低电平写。也有的随机存储器(RAM)的读/写控制线是分开的,一条为读,另一条为写                                                           |



(续)

| 名称            | 说 明                                                                                                                                        |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 输入/输出接口电路     | 输入/输出接口电路是存储器数据进出的通道,随机存储器(RAM)通过输入/输出电路与 CPU 交换信息,在进行读操作时这一接口是存储器的输出端,在写入时这一接口是输入端,一线进出两用,由读/写控制线控制<br>存储器中的输入/输出端数目决定于存储单元的位数            |
| 片选控制          | 由于集成度的限制,通常需要把多片随机存储器(RAM)组装在一起,才能构成微控制器的存储器 CPU 在访问存储器时,一次只与一片随机存储器(RAM)交换信息,而与其他片随机存储器(RAM)不发生联系,片选信号就是用来实现这种控制的。当某一片的片选信号为有效低电平时,则该片被选中 |
| 存储矩阵<br>(存储器) | 随机存储器(RAM)中的存储单元通常被排列成矩阵形式,称为存储矩阵。地址译码器的输出信号,控制着存储矩阵与输入/输出端的连接状态,被选中的存储单元就接通,未被选中的存储单元就处于断开的状态                                             |

3. 种类

双极型随机存储器 (RAM) 只有静态的 RAM, 对于 MOS 型的随机存储器 (RAM) 则有静态和动态两种。

★16. 6. 2 静态随机存储器 (SRAM)

静态随机存储器 (SRAM) 同上面介绍的随机存储器 (SRAM) 结构和功能基本相同, 不同之处有下列几点。

1. 静态存储单元

采用静态存储单元构成的随机存储器 (RAM) 称之为静态随机存储器, 静态存储单元的特性是, 只要不断电, 只要不对存储单元进行改写, 静态存储单元所存储的信息不会丢失。

2. 静态存储单元基本结构

静态存储单元的基本存储单元的结构是由两个反相器构成的双稳态电路, 根据这一双稳态电路所用管子数目的不同, 可以命名这种静态基本存储单元, 如六管静态基本存储单元等。

由于静态存储器中的信息 (二进制码, 0 或 1) 是由具有记忆功能的双稳态电路记忆的, 所以所记忆的信息在不断电时就不会丢失。

3. 特点

静态存储器具有这样的特点: 一是电路结构复杂, 所用管子数目多, 功耗大, 工作速度低, 优点是不断电情况下记忆信息不会丢失。

4. 读写时序问题

读写时序是指微控制器在工作过程中, CPU 在与存储器交换数据时的工作节拍, 也就是 CPU 发出存储器读或写的指令后, 经过规定的时间后, 要从数据总线上读取或输出数据。对于存储器而言, 也有一个接到指令后要在一个规定时间内提供或接收数据, CPU 和存储器这两个部件之间工作节拍必须协调, 才能进行数据的正常交换。

存储器的读写时序主要是读周期时序和写周期时序, 前者是指存储器进行读操作周期的周期内时序, 后者是写操作周期内的时序。

1) 读周期时序。读周期时序包括 5 种时间概念: 读取时间、片选有效到输出稳定时间、片选有效到输出有效时间、片选失效到输出变三态门为高阻时间和地址改变后数据维持时间。

2) 写周期时序。写周期时序包括 5 种时间概念: 写入时间、写恢复时间、从写信号有效到三态门输出高阻时间、数据有效时间和数据保持时间。

★16. 6. 3 动态随机存储器 (DRAM)

动态、静态随机存储器都是随机存储器 (RAM), 只是由于基本的存储单元特性不同, 对所有



存储的信息在保存的方式上有所不同。

### 1. 动态存储单元

采用动态存储单元构成的随机存储器（RAM）称之为动态随机存储器（DRAM），动态存储单元的特性与静态存储单元的特性不同，即使不断电，但是一段时间后如果不对原信息进行刷新，存储单元所存储的原信息就会丢失，所以动态随机存储器存在一个刷新的问题。

### 2. 动态存储单元基本结构

基本的动态存储单元一般采用四管动态存储电路，它是利用 MOS 管栅极电容来暂时存储二进制数码，即利用电容器的储能特性来保存信息，而不是像静态基本存储单元那样是采用双稳态电路。

### 3. 工作原理

动态存储单元中，信息是保存在 MOS 管栅极电容之中的，对电容充电表示二进制中的数码 1，电容放电则表示是二进制数码 0。

当片选信号选中某一动态存储单元之后，如果行和列选择线都是高电平，说明选中了某一基本存储单元。在写入操作过程中，如果是写入数码 1，数据线上的数码 1 通过输入/输出接口和 MOS 管对栅极电容进行充电。如果是写入数码 0，则 MOS 管栅极电容通过 MOS 管、接口和数据线放电。

在进行读操作时，在选中某一基本存储单元之后，该单元中的 MOS 管栅极电容上的电位通过输入/输出接口和数据线输出。

### 4. 读再生放大器作用

由于集成电路工艺的限制，MOS 管栅极电容的容量不可能做得很大，甚至还没有分布电容大，由于存储数码的电容容量太小，这就造成这种动态存储器存在下列两个问题：

1) MOS 管栅极电容中二进制数码 1 和 0 的电位差太小，一般只有 0.2V 左右，0 和 1 数码电位差太小，容易造成对这两个数码的错误判断。

2) 由于 MOS 管栅极电容的容量太小，所能存储的电荷量太少，这样栅极电容中的信息被读出后，由于电容放电，使电容上的电压（该电压与电容中的电荷量呈正比关系）被破坏，也就是读出信息后原存储信息被破坏，这就是破坏性的读出。



### 重要提示

为了解决这两个问题，设置一个读再生放大器，该放大器用来对基本存储单元内的信息进行放大，在读出存储信息后，还要将经过放大后的原信息再写入该基本存储单元中。

### 5. 刷新

动态随机存储器除了在读出信息后要进行再生之外，由于 MOS 管栅极电容的漏电原因，存储于该电容中的电荷时间一长也会自行放掉，这样使存储单元中的数码 1 和 0 变得模糊不清，必须过一段时间（MOS 管电路约为 20ms）对所保存的信息全面进行一次重写，这样周期性地重复重写，这就是所谓的动态随机存储器的刷新。

刷新工作过程是这样：在每列选线上都有一个读出再生放大器，刷新时不输出信息，列选信号无效。此时，若先选第一行，就使该行的各列对应存储单元全部由读出再生放大器重写一次。第一行重写后，再选第二行，则一行上的全部存储单元信息又被重写一次完毕，以此类推。刷新时，行地址自动加 1，这样可一行一行地进行刷新，直至存储器会部刷新。

刷新的行地址保存在 CPU 的刷新地址寄存器（R）中，它还可以完成行地址自动加 1 的操作。

### 6. 特点

动态随机存储器的特点是电路功耗小、工作速度快、动态存储单元所用的元器件数目较少、更能适应大规模集成电路的制造。但是，动态随机存储器需要刷新电路和读出再生放大器电路，使这种存储器的外围电路比较复杂。另外，在动态随机存储器进行刷新期间，不能对存储器进行读出和写入操作，使存储器的有效利用时间受到限制。

**重要提示**

关于随机存储器 (RAM) 主要说明下列几点:

1) 随机存储器 (RAM) 存储的信息, 或写入后保存的信息, 只在微控制器正常运行期间有效, 一旦机器断电, 微控制器不工作, 随机存储器 (RAM) 内部所有原先信息全部丢失, 可见这种存储器所存放的信息具有临时性。

2) 在微控制器系统正常工作期间, 通过 CPU 对随机存储器 (RAM) 的控制, 这种存储器可以读出信息, 也可以对它写入信息。在写入新信息时, 旧信息被自动去除。

3) 随机存储器 (RAM) 中的动态存储器和静态存储器由于基本的存储单元特性不同, 使这两种随机存储器 (RAM) 在工作特性上有所不同。静态随机存储器 (RAM) 工作期间无需刷新和信息再生放大, 但动态随机存储器 (RAM) 需要这两种电路的工作来维持存储单元的信息存储。

4) 在微控制器系统中, 使用不同的随机存储器 (动态或静态) 时, 其 CPU 有所不同, 因为使用动态随机存储器 (RAM) 时, CPU 还要来管理这种存储器的刷新。

5) 无论是动态还是静态随机存储器 (RAM), 它们都有相同的与 CPU 保持通信、交换信息的电路, 这主要是地址译码器、读/写控制线、片选线和输入/输出接口等。

6) 随机存储器 (RAM) 与 CPU 之间通过地址总线、数据总线和控制总线保持联络和信息的交换。

**16.7****只读存储器 (ROM)**

只读存储器用英文 ROM 表示, ROM 是英文 Read Only Memory 的缩写。

**重要提示**

只读存储器 (ROM) 用来存储输出变量与输入变量之间确定的函数关系。在微控制器系统中, 只读存储器 (ROM) 用来存储程序、表格和常数, 因为这些程序、表格和常数在某一特定的微控制器系统中固定不变。

只读存储器 (ROM) 信息存入以后, 不能用简单的方法加以更改, 在工作时其存储的信息是固定不变的。只读存储器 (ROM) 只能用来读出信息, 不可以随时写入信息, 所以称为只读存储器。

**★16.7.1 只读存储器 (ROM) 的特性、结构和种类****1. 特性**

关于半导体只读存储器 (ROM) 的特性主要说明下列几点:

1) 只读存储器 (ROM) 具有不挥发性 (不易失性), 即使只读存储器 (ROM) 的供电电源切断, 所存储的信息也不会丢失, 具有相对稳定地保存信息的特点, 在这一点与随机存储器 (RAM) 完全不同。

2) 只读存储器 (ROM) 比随机存储器 (RAM) 少一个功能, 就是不能随时写入信息, 但可以随时读出信息。所以, 只读存储器 (ROM) 是只能读不能随时写入的存储器。

3) 只读存储器 (ROM) 内部的信息可以通过专门的电路写入, 或通过专门的方式写入, 并不是什么情况下都不能写入。

4) 只读存储器虽然能够存储信息, 并有存储器之称, 但是它不像随机存储器那样可以存储任意信息, 它属于组合逻辑网络, 但是 MOS 管只读存储器与组合逻辑电路在结构上又有明显的不同之处, 它是由固定的逻辑 1 或逻辑 0 排成的矩阵结构, 各种译码器电路就属于只读存储器的例子。

5) 只读存储器的优点是集成度高, 读取时间仅为 20 ~ 50ns。



## 2. 结构

只读存储器（ROM）的基本结构与半导体存储器基本相同，它也是由地址译码器、片选控制、数据输出接口等构成。

只读存储器（ROM）中的地址译码器、片选控制、数据输出接口等电路的功能，与半导体存储器是相同的。

## 3. 种类

只读存储器（ROM）主要有下列4种：

- 1) 掩模式只读存储器，又称为固定只读存储器。
- 2) 可编程只读存储器（PROM）。
- 3) 可编程可改写只读存储器（EPROM）。
- 4) 电可修改的可编程只读存储器（EAROM、EEP ROM）。

### ★16.7.2 掩模式只读存储器

掩模式只读存储器又称固定只读存储器。掩模式只读存储器在厂里制造时用掩模版控制存储内容，在出厂时这种只读存储器的存储信号已完全固定下来，使用时无法更改，只能读，不能写入。

#### 1. 结构

掩模式只读存储器由地址译码器、存储矩阵和输出电路三部分组成。在存储矩阵里，行线称为字选择线，列线称为位选择线。在字选择线与位选择线相交处是存储单元。

掩模式只读存储器表示数码1和0的方式是这样：在存储单元处，有MOS管时表示存储内容为数码1，没有MOS管处表示存储内容为数码0。存储矩阵中的整个内容完全决定于预先编好的程序和所要存放的数据。

#### 2. 字译码结构 ROM 工作原理

如图16-36所示是掩模式只读存储器电路组成示意图。电路中，A0和A1是两位来自数据总线的地址码，它加到两位的译码器中。两位的地址译码器可以有4条选择线，每一条选择线选中一个字，所以将W0~W3称为字线（共4条）。每一个字有4位，即D0~D3，将它们称为位线。电路中，VT1~VT4称为负载管，A~D是四个非门。

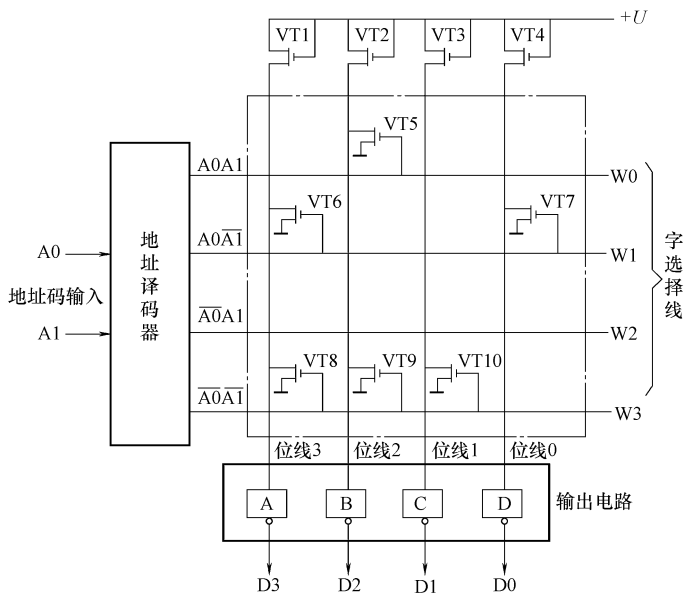


图 16-36 字译码结构掩模式只读存储器电路组成示意图



这一电路的工作原理是这样：在一般情况下，各位线保持高电平 1 状态，如  $+U$  通过导通的 VT4 使位线 0 保持高电平。字线的电平高低由译码器的输出状态决定。设译码器输出状态是， $A_0 = 1$ ， $A_1 = 1$ ，从图中可看出，此时只有字线 W0 为高电平，其他三条字线因译码器输出有 0，所以它们都是低电平。

由于字线 W0 为高电平，这一高电平使 VT5 管导通，这样将位线 2 通过导通的 VT5 管接地，使位线上为低电平 0，这一低电平经非门后输出高电平 1。其他各位线由于没有 MOS 管，所以均保持高电平，经各自的非门后输出低电平 0。所以，当  $A_0 = 1$ 、 $A_1 = 1$  时，输出数据为  $D_3 = 0$ ， $D_2 = 1$ ， $D_1 = 0$ ， $D_0 = 0$ ，即为 0100。

如果字线 W1 被选中，输出数据为 1001。如果字线 W2 被选中，输出数据为 0000。如果字线 W3 被选中，输出数据为 1110。



#### 重要提示

从上述分析可知，图中的这一掩模式只读存储器保存的 4 个字数据分别是 0100，1001，0000 和 1110。这种结构的只读存储器，称为字译码结构只读存储器。

### 3. 双译码结构的掩模式只读存储器

掩模式只读存储器除这种字译码结构外，还有一种双译码结构的 MOS 管只读存储器，它的地址线有行地址和列地址组成，分别通过行译码器和列译码器译码。行译码器输出选中某一行，但在这一行中，哪一个存储单元能够输出信息还取决于列译码器的输出状态，这样每次只选中一个单元。

## ★16.7.3 可编程只读存储器（PROM）

可编程只读存储器用 PROM 表示。这种只读存储器可以由用户自己一次性写入信息，不像掩模式只读存储器出厂后就什么都不能改变了。

可编程只读存储器比掩模式只读存储器多了一个写控制电路。

### 1. 结构

在 TTL 可编程只读存储器中，首先做出一个完整的晶体管存储矩阵，每个晶体管的发射极都经过熔丝与位线相连，如图 16-37 所示。这种存储器在出厂时，熔丝都是接通的，也就是存储的内容为数码 1。

### 2. 编程原理

如果需要将 PROM 中某些存储单元中为 1 的内容改为数码 0，则给这个存储单元加上足够大的电流，将熔丝烧断，使其发射极和位线断开，这就相当于存储数码 0。对于那些没有加上大电流的存储单元，仍存储数码 1。

熔丝是一次性的，一旦熔丝烧掉后，不能再恢复，所以某一存储单元改写为数码 0 后，就再不能改写为数码 1 了。

### 3. 特性

可编程只读存储器比前面一种掩模式只读存储器有一定灵活性，可根据用户需要存储信息，但用户的写入也是一次性的。

对可编程只读存储器的写入有专门的装置。

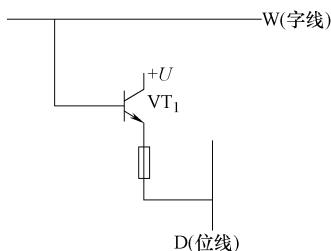


图 16-37 示意图

## ★16.7.4 可编程可改写只读存储器（EPROM 和 EAROM）

PROM 虽然可以由用户自己来写入信息，但是一旦写入后再不能更改，这在许多情况下使用起来很不方便，而可编程可改写只读存储器要出厂时全部存储单元内容都是 1，用户可更改，即将 1





更改为0。在更改后，用户还可以将更改的内容擦除，即再将0擦除恢复成1。

### 1. 种类

可编程可改写只读存储器从性能上可分为下列两种：

- 1) 可擦写可编程只读存储器，用 EPROM 表示。
- 2) 电可改写可编程只读存储器，用 EAROM 表示。

### 2. 可擦写可编程只读存储器 (EPROM)

可擦写可编程只读存储器用 EPROM 表示。

1) 特性。可擦写可编程只读存储器 (EPROM) 可用紫外线 X 射线将存储内容一次全部擦除，然后再写入新的内容，但这种存储器不能逐字擦除。

2) 基本存储单元。EPROM 的基本存储单元采用 FAMOS 管，FAMOS 是英文 Floating gate Avalanche injection MOS 的缩写，这种 MOS 管称为浮动栅雪崩注入 MOS 管，如图 16-38 所示是这种 MOS 管的结构示意图。

从图中可看出，FAMOS 管结构与普通的 P 沟道增强型 MOS 管基本相似，在 N 基片上生长出两个高浓度的 P 区，分别作为漏极 (D) 和源极 (S)，所不同的是在 D 和 S 之间有一个由多晶硅做成的栅极埋在  $\text{SiO}_2$  层中，栅极与四周电气绝缘起来，这样的栅极称为浮动栅。

3) FAMOS 管存储信息原理。当漏、源极均为零电位时，浮动栅上没有电荷，漏极与源极之间没有导电沟道的形成。若在漏极与源极之间加上比较大的负电压（如  $-30\text{V}$ ），则可使 N 基片和漏极之间的 PN 结产生雪崩击穿，耗尽层中的电子在强电场中以很快的速度由  $\text{P}^+$  区外射出，由于它们的速度很快，就会有一部分电子穿透比较薄的氧化层到达浮动栅，并存储在栅极上，这一过程称为雪崩注入。

当漏极与源极之间的电压移去之后，由于注入到栅极上的电荷没有放电回路，故能长久地保存在栅极上。当栅极获得足够的电子，则可在漏极与源极之间产生导电沟道，使 FAMOS 管处于导通状态。

从上述分析可知，FAMOS 管存储信息的原理是这样：当浮动栅中有电子时管子导通，当浮动栅中没有电子时管子截止，利用 FAMOS 管导通与截止两状态来分别表示二进制数码中的 1 和 0。

4) 擦除方法。擦去 FAMOS 管浮动栅中的电荷，可用紫外线或 X 射线照射，使浮置栅中的电子从光量子中获得能量越过势垒，产生光电流从浮动栅流入 N 基片，使浮动栅恢复原态，源极和漏极之间的导电沟道消失，管子又恢复为截止。

5) 基本存储单元电路。如图 16-39 所示是 EPROM 的基本存储单元电路示意图。从图中可看出，每一个基本存储单元电路中由两只管子  $\text{VT}_2$  和  $\text{VT}_3$  构成，其中  $\text{VT}_2$  是普通 MOS 管， $\text{VT}_3$  是 FAMOS 管。这两只管子处于串联状态，FAMOS 管相当于一个电子开关。电路中， $\text{VT}_1$  是负载管。

这一电路的工作原理是这样： $\text{VT}_2$  的栅极由字线控制，EPROM 时所有 FAMOS 管都处于截止状态，用户在写入时，根据需要存储的内容，在相应的位线上加负脉冲电压，再通过字线（地址译码器输出线）控制，使选中地址的单元中普通 MOS 管都导通，这样就可使被位线选中的 FAMOS 管产生雪崩击穿，在栅极上注入电子。

读出时，字线选择一行单元，栅极注入了电子的 FAMOS 管都导通，对应的位线就变为高电平 1；而栅极没有注入电子的 FAMOS 管截止，对应的位线为低电平 0。

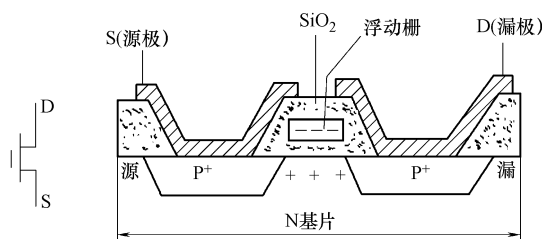


图 16-38 浮动栅雪崩注入 MOS 管结构示意图

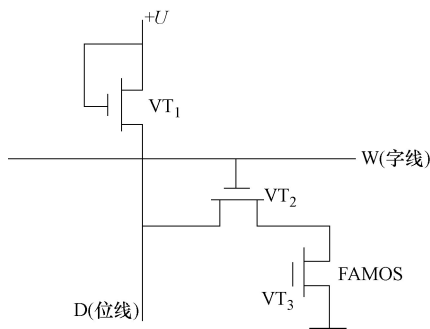


图 16-39 基本存储单元电路示意图

### 3. 电可修改可编程只读存储器 (EAROM)

电可修改的可编程只读存储器用 EAROM 表示。

1) 特性。EPROM 存在两个问题：一是若用紫外线把存储信息擦干净，需要很长的擦除时间。二是不能把电路中个别的存储单元单独擦除和重写，只要改写一个单元，就必须把整个 EPROM 芯片的信息全部擦掉，然后全部加以重写，所以使用起来很不方便。

采用 MNOS (Metal-Nitride-Oxide Semiconductor, 具有双绝缘层的半导体结构, 取代了在金属氧化物半导体结构中常见的二氧化硅栅绝缘层) 型电可修改的可编程只读存储器 (EAROM) 能够解决上述问题。这种 EAROM 可利用加电方法对存储器的指定存储单元进行擦除和重写, 且改写时间很短, 而对其他单元的信息没有影响, 仍然可以保留。

#### 重要提示

EAROM 由于改写比较方便, 又有只读存储器能够长久保存信息的功能, 所以在家用电器中常有使用, 例如它通常可以用于电视接收机遥控系统中用作电视节目 (频道) 的信息存储器。

EAROM 和 EPROM 的功能相同, 但它更便于擦写和重写, 不足之处是速度较慢。

2) 基本存储单元。EAROM 的基本存储单元是一种通过加电就可改变阈值电压的 P 沟道 MOS 器件, 如图 16-40 所示是这种器件结构示意图, 称为 MNOS 存储单元结构。

从图中可看出, 在沟道上有一层很薄的  $\text{SiO}_2$ , 在它的上面还有一层较厚的氮化硅, 从而形成了一个  $\text{SiO}_2\text{—Si}_3\text{N}_4$  界面。若在栅极和基片之间加上足够大的正电压 (25 ~ 30V), 则电子将通过隧道进入  $\text{SiO}_2\text{—Si}_3\text{N}_4$  界面。由于  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Si}_3\text{N}_4$  都是很好的绝缘体, 所以当加在栅极和基片之间电压移去后, 停留在陷阱中的电荷将持续一个很长的时间 (10 年以上)。

由于电荷的存在, 使得存储管处于低阈值电压状态 (高导状态), 称之为 1。当在栅极和基片之间加上较大的负电压时 (-25 ~ -30V), 陷阱中的电荷被驱赶, 通过  $\text{SiO}_2$  层进入基片, 此时存储管处于高阈值状态 (低导状态), 这时被写成 0。

在 MNOS 型 EAROM 中每个存储单元, 只用一个 MOS 管, 因为这种器件有栅极, 管子本身通过栅极可以控制, 这样不仅简化了工艺, 而且提高了集成度。

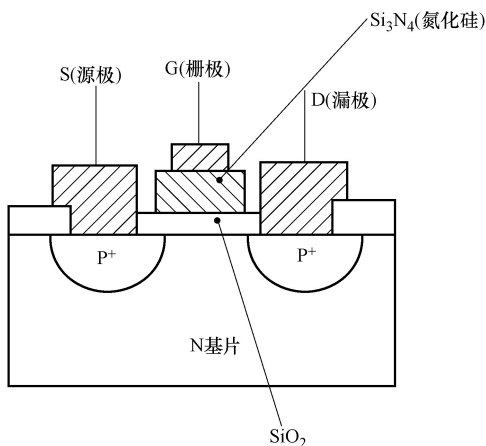


图 16-40 加电就可改变阈值电压的 P 沟道 MOS 器件结构示意图

#### 重要提示

关于只读存储器主要说明下列几点：

1) 只读存储器有多种, 并不是所有的只读存储器都是只能读出信息不能对已存储信息进行更改, 所以认为只读存储器只能读不能改有些不够全面, 例如 EAROM 就能够在加电情况下进行改写, 只是只读存储器的改写不像随机存储器改写那样非常方便。

2) 从改写这一角度上讲, 写入信息后根本不能够改写的是掩模式只读存储器, 也就是固定只读存储器。其次, 可编程只读存储器 (PROM) 在用户自己一次性写入信息后, 也什么都不能改变了。可擦写可编程只读存储器 (EPROM) 能够对所有信息进行全部擦除, 但这种擦除是相当不便的。改写最方便是电可改写可编程只读存储器 (EAROM), 所以这种只读存储器在家用电器的微控制系统中有应用。

4) 电可改写可编程只读存储器 (EAROM) 通过加上直流电压便能进行改写, 并且能够重复



改写, 这一特性接近于随机存储器, 且比随机存储器更优越之处是, 电可改写可编程只读存储器 (EAROM) 在断电后仍然能够保存所存储的信息, 且能保存 10 年之久。所以, 利用电可改写可编程只读存储器 (EAROM) 不怕断电、方便改写的特性, 在一些家用电器的微控制器中用它来保存信息, 例如用来存储电台、频段等。

5) 各种只读存储器的特性不同, 是因为它们的最基本存储单元所使用的器件特性不同。

6) 只读存储器同随机存储器一样, 在通过数据总线、地址总线和控制总线与 CPU 保持联络。

## 16.8 存储器连接



### 重要提示

存储器的连接包括两个部分: 一是存储器与存储器之间的连接 (称为扩充), 二是存储器与 CPU 之间的连接。

### ★16.8.1 存储器芯片扩充

存储器芯片的扩充是一种增大存储容量的方法, 其存储器芯片的扩充方法有两种: 存储器的位扩充和存储器的地址扩充。

#### 1. 存储器的位扩充

存储器的位扩充就是存储器芯片的位并联。存储器通常是以一个字长为单元存储信息的, 如某 CPU 为 8 位, 它是以一个字节 (8 位) 为一个存储单元, 而许多存储器只是 1 位或 4 位的, 要组成一个 8 位的存储器必须将多个存储器芯片相对应的单元并联起来, 这就称为存储器芯片的位并联。

如图 16-41 所示两片 4 位存储器芯片并联组成的 8 位存储器。电路中,  $D0 \sim D7$  是数据总线,  $A0 \sim A9$  是地址总线。1 和 2 分别是两片 4 位存储器芯片。

从图中可看出, 存储器芯片的 4 根数据线分别接到数据总线的低 4 位, 即  $D0 \sim D3$  上, 第 2 个存储器芯片的 4 根数据线分别接到数据总线的高 4 位, 即  $D4 \sim D7$ , 这样位的扩充就完成了。两个存储器芯片的地址线和控制线一一对应相并联后, 接在地址总线和控制总线上。

#### 2. 存储器的地址扩充

存储器的地址扩充就是存储芯片的地址串联。

当使用存储单元数较少的存储器芯片组成单元较大的存储器时, 采用的方法就是进行芯片的地址串联, 此时需要借助于地址译码器。

这里设用 4 片  $1k \times 4$  的存储器芯片组成  $4k \times 4$  的存储器, 需要将 4 片存储器芯片的地址串联起来, 如图 16-42 所示。电路中,  $A0 \sim A11$  是 CPU 的地址线,  $D0 \sim D3$  是数据线,  $WREQ$  是存储器请求指令输出端,  $\overline{WE}$  是允写指令输出端。

从图中可看出, CPU 的地址总线  $A0 \sim A9$  直接与各存储器的地址译码器输入端相连, CPU 中的地址线  $A10$  和  $A11$  通过译码器可有 4 根选择线, 分别与 4 个存储器芯片的片选输入端  $\overline{CR}$  相连。

当  $A11A10 = 00$  时, 选中存储器芯片 1。当  $A11A10 = 01$  时, 选中存储器芯片 2。当  $A11A10 = 10$  时, 选中存储器芯片 3。当  $A11A10 = 11$  时, 选中存储器芯片 4。在任一时刻, 4 片存储器只有一个被

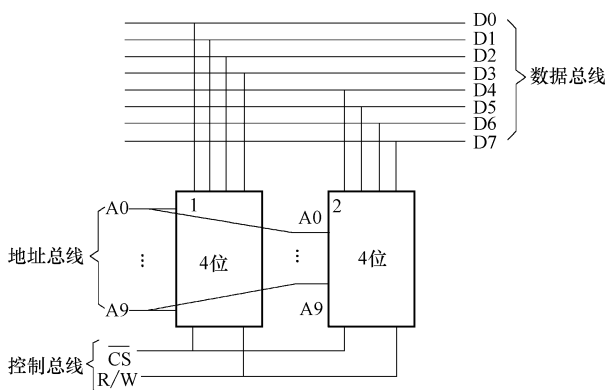


图 16-41 两片 4 位存储器芯片位并联构成的 8 位存储器

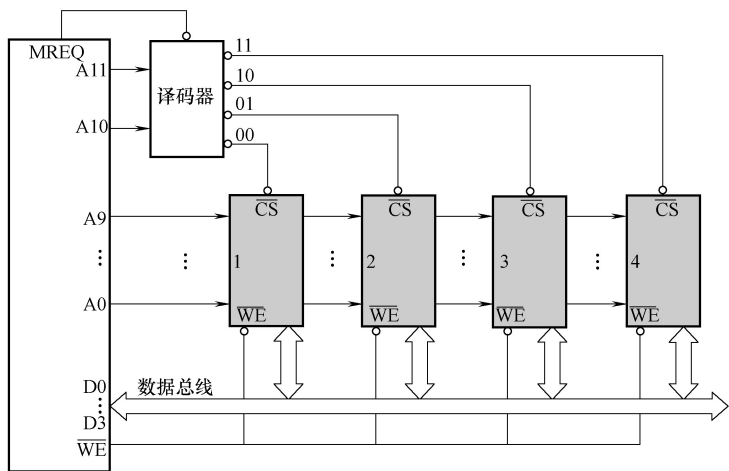


图 16-42 4 片 1k × 4 芯片组成的 4k × 4 存储器

选中而工作，这样就实现了片选址。

3. 存储器的位和地址扩充

前面介绍了存储器的位扩充和地址扩充，也可以将存储器位扩充和地址扩充组合起来使用。

★16.8.2 存储器与 CPU 的连接



重要提示

存储器是为 CPU 工作服务的，存储器与 CPU 之间共有下列三种信息联系：

- 1) CPU 通过地址码选中存储器中需要的存储单元。
- 2) 选中后 CPU 同存储器进行信息的交换。
- 3) 为了完成存储单元的选中和 CPU 与存储单元的信息交换，CPU 必须发出相应的控制指令或接收存储器对 CPU 控制的一些要求。

1. 地址线连接

存储器的地址线与 CPU 之间的连接有下列两种情况：

- 1) 存储器的地址线一般可以直接连接到 CPU 的地址总线上。
- 2) 对于容量很大的动态 RAM 而言，由于通常采用双译码器方式，需要采用行地址和列地址分时输入的方式，此时就需要在 CPU 与存储器之间加上多种转换开关，用行选通信号  $\overline{\text{RAS}}$  和列选通信号  $\overline{\text{CAS}}$  先后将地址的低位与高位送入存储器。

对于具有 16 根地址线（A0 ~ A15）的 CPU，可以直接访问内存  $2^{16} = 64\text{k}$ 。在这 64k 中，每 256 个单元为一页，共 256 页，如图 16-43 所示。

在 A0 ~ A15 中，A8 ~ A15 称为页地址，A0 ~ A7 称为页内地址。

2. 数据线连接

RAM 的数据只传向 CPU。

对于随机存储器（RAM）而言，数据是双向传输的。存储器数据线与 CPU 之间的连接有下列两种情况：

- 1) 有的 RAM 数据线输入线与输出线是分开的，这种情况下要外加三态门，随机存储器才能与 CPU 相连接，如图 16-44 所示。
- 2) 有的随机存储器输入线和输出线是共用的，对这种情况由于芯片（集成电路）内部设有三态门，所以可以直接通过数据总线与 CPU 相连接。

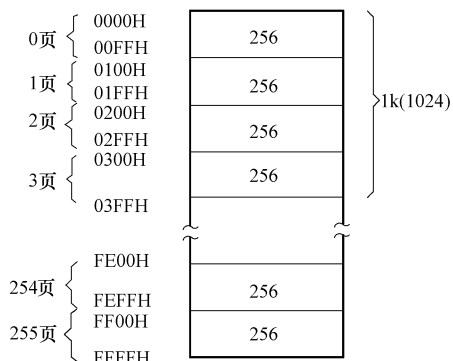


图 16-43 地址存储表示意图

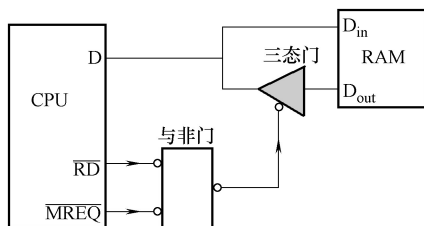


图 16-44 输入线和输出线分开的随机存储器与 CPU 连接电路

### 3. 控制线连接

CPU 与存储器之间的控制命令和连接方式主要下列几种:

- 1) CPU 发出的读命令 ( $\overline{RD}$ )。
- 2) CPU 发出的写命令 ( $\overline{WR}$ )。读命令使数据从存储器传向 CPU, 写命令则数据传输方向相反, 由于在同一时刻数据只有一个流向, 即要么是读要么就是写, 因而往往只用读和写中的一个命令, 如用  $\overline{WR}$  的高、低电平连到存储器的写允许输入端  $\overline{WE}$  上, 通过高、低电位的不同来控制是读还是写。
- 3) 存储器请求命令  $\overline{WREQ}$ 。这一命令规定 CPU 是同存储器交换信息, 因这一命令与存储器的片选信号输入端  $\overline{CS}$  相连, 有两种连接方式: 一是 CPU 的  $\overline{WREQ}$  命令输出端直接与存储器的片选信号输入端  $\overline{CR}$  相连; CPU 的  $\overline{WREQ}$  命令输出端通过存储器中的译码器间接地同存储器中的片选信号输入端  $\overline{CR}$  相连。
- 4) 动态随机存储器的刷新命令  $\overline{RFSH}$ 、取指令命令 M1 等。

### ★16.8.3 CPU 与存储器连接

CPU 与存储器的连接在前面已经介绍了不少内容, 这里再补充说明几点。CPU 在与不同的存储器连接时, 所使用的输出线是有所不同的。

#### 1. CPU 与 ROM 连接

CPU 与 ROM 连接时, 主要是下列三类线:

- 1) 地址总线连接。CPU 输出的地址总线或直接与 ROM 相连, 或通过地址译器与存储器相连。CPU 的地址总线有多根。
- 2) 数据线连接。CPU 的数据总线直接与 ROM 相连, 数据总线中的信息流向为从存储器流向 CPU。
- 3) 存储器请求线连接。此为单线, 属于控制总线。

#### 2. CPU 与静态 RAM 连接

CPU 与静态 RAM 的连接除上面所介绍的 CPU 与 ROM 连接线外, 还多了一些控制线, 就是读/写控制线, 这是因为静态存储器不仅可以输出信息, 还可以被写入信息, 所以要用一个读与写的控制。

另外, 在 CPU 与静态 RAM 数据线连接中, 数据线传输是双向的, 具体流向由读/写控制线来控制。

#### 3. CPU 与动态 RAM 连接

CPU 与动态 RAM 连接是在 CPU 与静态 RAM 连接基础上, 再加入一条刷新控制线, 这是因为动态 RAM 的特性所要求的, 必须周期性对原存储信息进行刷新, 刷新命令是由 CPU 给出的。

#### 4. CPU 与 EAROM 连接

CPU 与 EAROM 连接要在 CPU 与 ROM 连接基础上, 再加上电改写控制线, 因为 EAROM 能够在加电情况可改写原信息, 所以要多出这样一条控制线。此外, 在 CPU 与 EAROM 的数据总线连接中, 该数据总线也是双向的, 因为 EAROM 可以读出原信息, 也可以写入新信息。同时, 也有控制



读和写的控制线。

★16.8.4 EAROM 应用和连接

这里以彩色电视机为例，说明微控制系统中的 EAROM 的操作功能、存储内容和电路连接方式等。

1. 功能

在彩色电视机微控制系统中的 EAROM 有下列三个操作功能：

- 1) 写入功能。这一功能也称为存入功能，就是将被传输信息的数据写入指定地址的存储单元中。
- 2) 取出信息功能。这一功能就是将指定地址存储单元中的存储信息数据读出。
- 3) 清除功能。这一功能就是将指定地址存储单元中原来的存储信息抹去。

2. 存储内容

在彩色电视机微控制器系统中的 EAROM 主要存储三种信息数据：一是数字选台信息数据，二是音量、亮度、色饱和度的数字控制信息数据，三是最后收看电视节目（频道）的节目信息数据等，具体说明如表 16-17 所示。

表 16-17 彩色电视机微控制器系统中 EAROM 存储的三种信息数据

| 名称                  | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 数字选台信息              | 通常每个存储单元的字长是 12 位,这其中包括了下列几个方面的信息:<br>(1)数字调谐电压信息数据,它用 13 位来编码。电视机中的调谐电压模拟值是 0 ~ 30V,13 位共能表示 8192 个级别,也就是 13 位能够将 0 ~ 30V 分成了 8192 级步进变化,每级步进电压为 3.6mV<br>(2)数字频段信息数据,它用 2 位表示,2 位二进制码共能表示 4 种不同的频段,而我国电视标准中将全频段只分成 3 个频段:一是 VL,二是 VH,三是 U,所以用 2 位已经足够了<br>(3)自动频率微调接入状态信息数据,用 1 位表示数字调谐结束时,自动频率微调电路的状态信息数据 |
| 音量、亮度、色饱和度的数字控制信息数据 | 音量、亮度、色饱和度的数字控制信息数据各占用 6 位字长的存储单元,由于采用 6 位编码,所以每一种控制都有 $2^6 = 64$ 级步进变化<br>另外,存储器还将存储音量控制的 30%、亮度控制的 80%、色饱和控制的 50% 等几项固定参数                                                                                                                                                                                  |
| 最后收看电视节目(频道)的节目信息数据 | 这一信息存储用来记忆关机前最后收看电视节目(频道)的数字选台信息数据、频道存储位置号信息数据,以及音量、色度、色饱和度等各种控制信息数据                                                                                                                                                                                                                                         |

3. 并行 EAROM 的连接

根据 EAROM 内部结构所决定的数据传输方式不同，EAROM 分为两种：一是并行结构的 EAROM，二是串行结构的 EAROM。

如图 16-45 所示是并行结构 EAROM 连接示意图。从图中可以看出，它由存储矩阵、行和列地

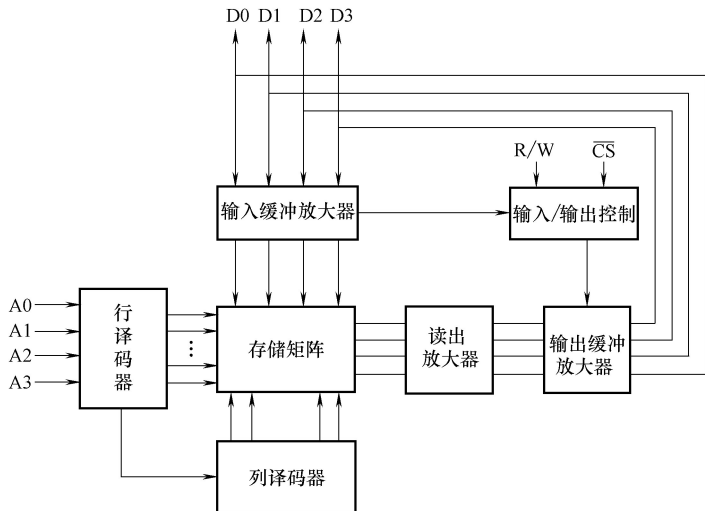


图 16-45 并行结构 EAROM 内部结构框图





址译码器、数据输入/输出缓冲器、读/写（R/W）控制和片选（CS）控制接口电路等组成。如表 16-18 所示是并行结构 EAROM 内部结构框图说明。

表 16-18 并行结构 EAROM 连接电路说明

| 名称      | 说 明                                                                                                                                                            |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 电源供给电路  | EAROM 集成电路的电源供给有两组：<br>(1) +5V 直流电压,这是供给集成电路内部各部分电路工作的直流电压<br>(2) -30V 直流电压,这是供写入、擦除的直流电压                                                                      |
| 引脚端子    | 这是一个 4 位字长的 EAROM,供有四根数据传线 D0 ~ D3,四根地址传输线 A0 ~ A3,一根读/写控制线 R/W,一根片选控制线 CS,两根电源线 and 一根地线<br>当微控制系统中只使用一片 EAROM 时,片选控制线 CS 可以接地,当微控制系统中使用多片 EAROM 时才使用片选控制线 CS |
| 存储单元数量  | 一个 4 位的 EAROM 不是只能容纳 $2^4 = 16$ 存储单元,通过分两次送地址码的方式,第一次送低 4 位,第二次送高 4 位,构成 8 位地址,这样可容纳 $2^8 = 256$ 个存储单元                                                         |
| 读/写操作控制 | 微控制系统在工作时,CPU 选中存储器后,只要发出地址码,同时读/写 (R/W) 控制线为高电平,此时就能进行读操作,读出 EAROM 指定存储单元中的信息数据<br>当读/写 (R/W) 控制线为低电平时,就能进行写入 EAROM 指定存储单元的操作                                 |

4. 串行 EAROM 的连接

串行 EAROM 在内部结构和工作原理上与并行 EAROM 相同，只是多个一个控制方式译码器和串并行接口及控制电路，如图 16-46 所示是串行 EAROM 的内部结构框图。如表 16-19 所示是串行 EAROM 连接电路说明。

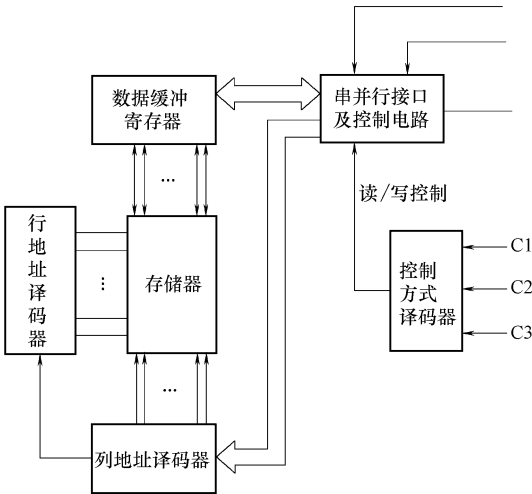


图 16-46 串行 EAROM 内部结构框图

表 16-19 串行 EAROM 连接电路说明

| 名称     | 说 明                                                                                                                                                    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 引线端少   | 由于串行传输有特点,使 EAROM 的引线端子明显减少,一般只有:一条双向数据线,3 条工作方式控制线(C1 ~ C3),一条片信号控制线 CS,一条时钟脉冲线,两条电源线( +5V 直流工作电压和 -30V 擦除直流电源),一条地线,一共 9 条线                          |
| 分时传输   | 由于采用了串行传输方式,所以地址和数据信息采用不同时间的串行传输,即分时传输                                                                                                                 |
| 双向信息传输 | 输入/输出端子为了一条双向信息传输通道,用来传输地址、数据信息。当 EAROM 工作在输出状态时,这条双向信息传输线用来输出原来存储在 EAROM 中的数据和地址信息,送给 CPU。当 EAROM 工作在输入状态时,这条双向信息传输线用来输入 CPU 送来信息,就是写入 EAROM 的数据和地址信息 |

(续)

| 名称              | 说 明                                                                                                                                                                       |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工作方式控制          | CPU 对 EAROM 的控制功能有多项,如写入、读出等。CPU 对串行 EAROM 的各种控制指令以 3 位一组的并行信号 C1、C2 和 C3 进行控制,该信号经 EAROM 内部的控制方式译码器译码后对 EAROM 工作方式<br>3 位的控制码共有 8 种不同的控制功能,在串行 EAROM 中实际只使用 7 种控制功能      |
| 片选控制信号<br>和时钟脉冲 | 要使 EAROM 进行控制还需要片选控制信号 CS 和时钟脉冲。加入时钟脉冲的目的是,使 EAROM 的工作节拍与 CPU 工作节拍保持一致<br>当 $\overline{CS}$ 为低电平时,EAROM 一切控制信号才有效。当 $\overline{CS}$ 为高电平时,输入控制信号 C1、C2 和 C3 都无 EAROM 控制效果 |

5. EAROM 工作状态

在彩色电视机中,EAROM 在下列几种情况才进入工作状态。

- 1) 每次开机时,读出 EAROM 中有关上次关机前的各种状态信息。
- 2) 在进行自动预置选台和手动预置选台过程中,EAROM 进入写入操作状态,在最后确定了预置结果后,EAROM 将这一最后数字选台信息写入 EAROM 中,保存起来。
- 3) 在切换电视节目频道时,EAROM 处于读出状态,将所要选择的频道节目的数字选台信息(数字调谐电压、数字频段)和 AFT(自动频率稳定)等数据从 EAROM 中读出,送给 CPU。
- 4) 在进行音量、亮度、色饱和度调整过程中,EAROM 进入写入状态,一旦上述调整结束(释放调整键),有关调整的最后结果信息就被写入 EAROM 中保存起来。
- 5) 每次关机时,EAROM 进入写入状态,将关机前最后时刻的有关电视机状态(电视频道、频道存储位置号、音量、亮度、色饱和度等)控制信息被写入 EAROM 中,供下次开机时进入关机最后时刻的工作状态。

6. EAROM 与 CPU 连接

如图 16-47 所示是 EAROM 与 CPU 连接电路示意图。电路中,集成电路  $A_1$  是微控制器集成电路, $A_2$  是 EAROM 集成电路,两片集成电路之间共有七条线路连接。

从图中可看出,这是一个并行结构 EEAROM,它的四位数据线与 CPU 相接相连,CPU 发出的片选控制信号直接加到  $A_2$  的片选输入端。

$\overline{LD}$  是数据输入控制引脚,控制指令由 CPU 发出,用来控制  $A_2$  的 4 个数据输入端。当  $\overline{LD}$  引脚为低电平时, $A_2$  的 4 个数据引脚端被关闭,当  $\overline{LD}$  引脚为高电平时, $A_2$  的 4 个数据引脚端打开,可根据 CPU 的指令进行各种操作。

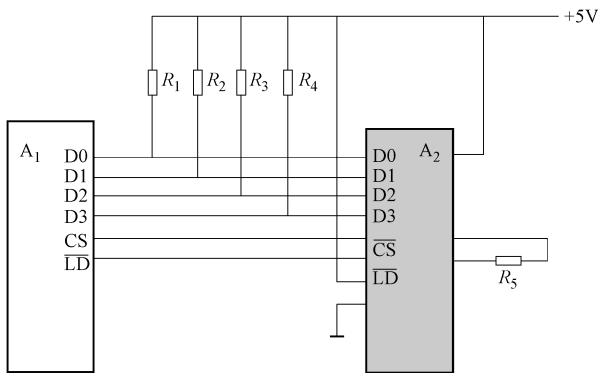


图 16-47 EAROM 与 CPU 连接电路示意图

★16.8.5 识图小结

存储器芯片(集成电路)主要是与 CPU 发生关系,所以它主要是与 CPU 连接。存储器与 CPU 的连接方式基本相同,但不同的存储器也有所差别。在识图中过程中,主要是分析存储器芯片与 CPU 芯片之间的连接关系和存储器芯片各引脚作用、外电路工作原理。

存储器作为一个独立的芯片主要有这样几个作用的引脚:数据线引脚、地址线引脚、片选控制信号引脚、电源引脚、接地引脚等。如表 16-20 所示是识图过程中引脚电路分析的小结。



表 16-20 识图过程中引脚电路分析的小结

| 名称      | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 电源引脚    | 一般情况下该引脚只有一根,该引脚的直流电压为 +5V。但是,EAROM 还多一个擦除电源引脚,该引脚通常用 $V_{pp}$ 表示,该引脚的直流电压通常为 -30V 或 +32V<br>这两个电源引脚都是与整机电源电路的相应直流电压输出端相连接。电源引脚是输入功能引脚                                                                                                                                                                                                                                         |
| 接地引脚    | 通常该引脚只有一根,该引脚与整机电路的地线相连接                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 地址线引脚   | 该作用的引脚数目有下列两种情况:<br>(1)有多根地址线引脚,这是并行传输方式的存储器,此时通常用字母 A 加数字的方式来表示,如 A0、A1……<br>(2)只有一根地址线引脚,这是串行传输方式的存储器,通常这根地址传输线引脚还要用来传输数据。对传输地址信息而言,该引脚是存储器芯片的输入引脚<br>地址线引脚与微控制器系统地址总线相连接,通过地址线与 CPU 相连,对存储器而言,地址线引脚是输出功能引脚                                                                                                                                                                  |
| 数据线引脚   | 该引脚的数目也有下列两种情况:<br>(1)多根情况,这是并行的存储器,此时通常用字母 D 加数字的方式来表示数据引脚,如 D <sub>0</sub> 、D <sub>1</sub> ……<br>(2)只有一根引脚情况,此时为串行存储器,它的数据引脚与地址引脚共用一根引脚。对于传输数据而言,该引脚作用存储器的数据输出线使用<br>数据线引脚与微控制器系统数据总线相连接,通过数据总线与 CPU 相连。对不同的存储器而言,数据线引脚有的是输出功能引脚,有的是输入功能引脚,但总是用来输入或输出数据的引脚<br>在 RAM 中,数据传输是双向的,所以存储器的数据线引脚是一个双向引脚,能作为输入数据引脚使用,也能作用为输出数据引脚<br>对于 ROM 而言,通常是作为数据输出引脚使用,但在 EAROM 中也可以作为数据输入引脚使用 |
| 片选控制引脚  | 片选控制引脚是一种控制作用引脚,它只有一根,通常用 CS 表示。各种功能的存储器中都有片选控制引脚。对存储器而言,这是一个输入引脚<br>当该引脚为低电平时,存储器才能够进入读取或写入工作状态,当该引脚为高电平时,存储器不能进入写入或读取工作状态                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 读/写控制引脚 | 存储器的读/写控制引脚有下列两种情况:<br>(1)读/写控制用一根引脚,此时通常该引脚的高电平和低电平变化来分别进行读操作和写操作的控制<br>(2)读操作用一根引脚,写操作用一根引脚,进行读、写的分别控制                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 其他引脚    | 存储器芯片除上述几个作用的引脚外,还有下列一些引脚:<br>(1)复位引脚 REST。该引脚用来输入复位信号,当该引脚为低电平时使存储器的各控制输入无效。当该引脚为高电平时,存储器恢复正常工作<br>(2)时钟信号输入引脚 OSC。用来外接时钟脉冲输入,或是接外时钟电路中的振荡元件<br>(3)时钟选择引脚 EOS。当存储器内部设置时钟电路时,可以用内部时钟脉冲信号,也可以通过外电路输入时钟脉冲信号,此时通过 EOS 来选择。当 EOS 引脚为低电平时,使用内部时钟信号。当 EOS 引脚为高电平时,使用外部时钟信号<br>(4)测试引脚 TEST。这是用来测试存储器的引脚,通常是处于低电平或悬空状态                                                                |

数字电路自测题及参考答案

★一、概述类自测题及参考答案

1. 是非判断题（在对的题号上画个圈，错的题号上打个差，并进行更正）。

题 1 正弦信号是一个模拟信号，矩形脉冲信号是一个数字信号，它们之间的根本区别是信号的幅值大小不同。

题 2 数字电路只能放大、处理数字信号，对于模拟信号要通过变换电路，将模拟信号转换成数字信号之后才能送入数字电路中。

题 3 对于模拟信号而言，其信号幅度直接表达了信号的幅值大小。对于数字信号的幅值大小不能只代表信号的幅值，只能表示数字信号的一种状态，如幅值大为高电平，幅值小为低电平。

题 4 数字信号中的“0”表示低电平，“1”表示高电平。数字电路中的晶体管主要工作在饱和状态、截止状态，这两种状态能够表示出数字信号中的“0”和“1”，这一点与模拟电路中的晶体管工作状态完全不同。

题 5 在数字电路中，电路所放大和处理的信号只有 0 与 1 两种状态，对于高电平 1 信号而言，

当它的信号幅度在一定范围内发生改变时,并不影响作为高电平 1 信号本身的特性,低电平 0 信号也是同样。但是,当 1 信号和 0 信号的幅度相差很小时,由于电路无法分清是 1 信号还是 0 信号,此时数字电路也无法正常工作。由此可见,在数字电路中也不是对高电平 1 和低电平 0 信号幅度没有要求的。

**题 6** 数字电路的优点有抗干扰能力强、电路工作的可靠性高、电路结构可以得到简化、在数字式记录重放系统对记录媒体和机械系统的要求比较低。缺点是数字电路的通用性比较差。

**题 7** 数字集成电路与模拟集成电路从引脚排列、封装形式上就能看出它们的不同。数字集成电路内电路是数字电路,模拟集成电路内电路是模拟电路,它们所放大、处理的信号是不同的,两种集成电路之间不能互换使用。

**题 8** 大规模集成电路与中规模集成电路的区别是内电路中晶体管的数目不等,大规模集成电路内电路中约有 1000~10000 只晶体管。一般情况下,集成电路引脚数目与集成电路的规模成正比关系。当集成电路的引脚数目较多时,集成电路引脚一般采用四列排列方式。

**题 9** 数字集成电路有这样一些特点:电路工作在小信号状态,电路工作电压和工作电流比较小,功耗较小,所以数字集成电路一般情况下没有散热片。

**题 10** 集成电路的内电路是相当复杂的,一般情况下对集成电路的内电路是没有必要进行详细分析的,只要了解集成电路的内电路框图和功能即可。在集成电路内电路中,一般情况下二极管是由晶体管变换而来的。

**题 11** 集成电路的引脚分布是有规律性的,了解这种引脚的排列对识图和修理都是十分有益的。对于各种排列的集成电路,其第一根引脚一般都有一个标记,对四列集成电路而言,正面对着有标记的第一根引脚,然后逆时针方向依次是集成电路的各引脚。

**题 12** 在数字式家用电器的整机电路中,所有的电路都是数字电路,没有模拟电路。整机电路图中各种电路中最复杂、最为全面的电路图。一些家用电器的整机电路图比较大,可能是分成几小张的。

**题 13** 一些功能的数字集成电路的输入引脚数字要比模拟集成电路的输入端数目要多得多,输出引脚数目也是这样。另外,数字集成电路的一些引脚不仅能输入信号,还能输出信号。

**题 14** 数字集成电路中的控制引脚数目要比模拟集成电路中的控制引脚数目多得多。

**题 15** 对数字集成电路的工作原理与模拟集成电路分析有所不同,对信号输入或输出引脚外电路分析主要进行信号传输的识图,对于控制引脚外电路分析主要是该引脚上电平高低对电路的具体控制作用。

## 2. 参考答案

**题 1** 错。正弦信号是一个连续变化量,而脉冲信号是一个离散量。

**题 2** 对。

**题 3** 对。

**题 4** 对。

**题 5** 对。

**题 6** 错。数字电路的通用性比较好。

**题 7** 错。数字集成电路与模拟集成电路从引脚排列、封装形式上是无法区别这两种集成电路的,但可从型号上区别它们。

**题 8** 对。

**题 9** 对。

**题 10** 对。

**题 11** 对。

**题 12** 错。在数字式家用电器的整机电路中,不是所有的电路都是数字电路,总是有一部分是模拟电路。

**题 13** 对。



题14 对。

题15 对。

### ★二、二进制数与二进制编码自测题及参考答案

1. 是非判断题（在对的题号上画个圈，错的题号上打个差，并进行更正）。

题1 在十进制数中只有0~9十个不同的数字，而在二进制中只有0、1两个数字，但是它们可以用来表示出许许多多的数字。用二进制数也能表示出十进制数字，例如二进制数中的1111就是十进制数中的15。而十进制中的9可以用二进制数中的1001表示。

题2 在二进制数中，进行加法运算时有这样几个公式： $1+1=10$ ， $1+0=1$ ， $0+1=1$ ， $0+0=0$ 。在进行减法运算时也有这样几个公式： $1-1=0$ ， $0-0=0$ ， $1-0=1$ ， $10-1=1$ 。

题3 由于二进制数中只有0和1两个数码，在数字电路中0和1只是电路的两种不同状态，例如晶体管的饱和用来表示是1，晶体管的截止用来表示是0，那么电子电路表示这种两种不同状态是相当方便的，所以数字电路中主要使用二进制编码。数字电路可以对这种二进制数码进行加、减等各种运算和逻辑运算等。

题4 一个3bit的数码最大只能表示十进制数中的7，如果要表示十进制数中的13必须使用4bit数码，但是若使用6bit数码时就无法表示十进制中的13了。这是因为6bit数只能用来表示64以上的数字。

题5 二进制数字0111是一个3bit数码，因为MSB位中的0没有意义，如果是1110就是一个4bit数码了，在这一数码中的0是LSB位。字是二进制数的基本单位，国际上统一将8位二进制数定义为一个字节而4位称为半字节。在习惯上，把1024个字节称为1k字节。

题6 8421 BCD码是一种用二进制码来表示十进制数的码制。这种码的权是8421，它的具有含义是MSB位权为8，2SB位权是4，3SB位权是2，LSB位权是1，利用这一关系可以方便地算出一个4bit二进制数码的十进制数，如1111就 $1\times 8+1\times 4+1\times 2+1\times 1=15$ 。

题7 在8421 BCD码中，若表示十进制数中的25就应该是2用0010表示，5用0101表示，这样就是0010 0101，如果是一个三位数也是用同样的方法表示。

题8 目前，世界上普遍采用ASCII码，即美国标准信息交换码。ASCII码用7位二进制数码来表示，可表示128种不同的字符，这其中包括0个十进制数字符号0~9、26个大小写英文字母、17个标点符号、9个运算符号以及50个其他符号等。8421 BCD码只有4位，它不能表示字母、符号。

题9 自然二进制码是不能表示电信号的负值，所以在数字系统中有许多能够表示电信号负值的二进制码，例如2的补码、1的补码、带正负号的自然二进制码、偏移二进制码、偏移反射二进制码等，这些都是二进制码，但具体的编码规则是各不相同的。

题10 在CD机中使用2的补码，这是因为这种编码方便，且该码与十进制数中的0只有一个对应码0000。

题11 二进制码的传输有两各方式：一是并行传输，二是串行传输，前传输速度较快，但需要有相应多的传输线路。后者传输速度较慢，但只需要一打传输线路即可，这两种传输方式通过有关电路转换后可以改变。

题12 在模拟电路中没有能够记忆信号的电路，而在数字电路中的信息可以存放在有关具有记忆功能的电路，并且在数字电路工作过程中随时可以读取这些所存放的信息，也可以将有关信息存放在能够记忆信息的电路中，这一点数字电路与模拟电路有着很大的不同。

### 2. 参考答案

题1 对。

题2 对。

题3 对。

题4 错。使用6bit数码时可以表示十进制中的13，因为6bit数可以用来表示64以下的所有数字。



题5 错。0111 也是 4bit 数码。

题6 对。

题7 对。

题8 对。

题9 对。

题10 错。采用补码的原因是这种码在电路出现故障时噪声较小。

题11 对。

题12 对。

### ★三、逻辑门电路和触发器电路自测题及参考答案

1. 是非判断题（在对的题号上画个圈，错的题号上打个差，并进行更正）。

题1 数字电路中最基本的器件为电子开关电路，逻辑门电路就是一种电子开关电路。最常见的逻辑门电路主要有或门电路、与门电路、非门电路、或非门电路和与非门电路等。这些门电路可以由二极管构成，也可以是用晶体管构成，也可以用 MOS 器件构成。

题2 当晶体管工作在开关状态时，它有两个工作状态：一是饱和导通状态，此时晶体管集电极与发射极之间的内阻很小。二是截止状态，此时集电极与发射极之间的内阻很大。晶体管截止时相当于开关断开，晶体管饱和时相当于开关接通。晶体管截止、饱和时的集电极与发射极之间内阻相差很大。

题3 有一个四输入端的或门电路，只有当它的所有输入端都是高电平 1 时，这一或门电路才输出高电平 1。反过来讲，对于这一或门电路而言，四个输入端中只要有一个输入端是低电平 0 时，该或门电路输出低电平 0。

题4 有一个五输入端的与门电路，当五个输入端都是输入高电平 1 时，该门才会输出 1，如果有一个输入端是低电平 0，则该门必定是输出低电平 0。当五个输入端都是输入低电平 0 时，这一与门电路也是输出高电平 1。

题5 非门电路必须使用晶体管或 MOS 器件才能构成，二极管不能构成非门电路。非门电路是一种反相器，当输入低电平时，该门电路输出高电平，当输入高电平时则输出低电平。非门电路只有一个输入端和一个输出端，不像与门电路或门电路有多个输入端，同时也有多个输出端。

题6 在 CMOS 非门电路中，有两只不同沟道的 MOS 管构成，其中一只 MOS 管是控制管，另一只是负载管，负载管相当于控制管的有源电阻，无论非门电路的输入状态如何，负载管始终处于导通状态，但控制管是否导通则受输入信号的控制。

题7 与非门电路的结构是在与门的基础上再接一只非门，这种门电路的逻辑功能是先各输入信号进行与逻辑，然后再对与逻辑的结果进行非逻辑。与非门电路同或非门电路一样，可以有多个输入端，但只有一个输出端。

题8 所谓 CMOS 就是采用互补型的 MOS 管构成的电路。所谓 TTL 电路就是晶体管—晶体管—逻辑电路。所谓与或非门电路是两个或两个以上与门和一个或门，再一个非门串联起来的门电路。

题9 异或门电路只有两个输入端，一个输出端，输出端与输入端之间的逻辑关系是这样：当两个输入端一个为 1，另一个为 0 时，输出端为 1。当两个输入端都是 1 输出端为 0，当两个输入端都是 0 时输出端为 1。

题10 DTL 门就是晶体管—晶体管逻辑门电路，这种门电路是最简单的集成电路门电路。OC 门就是集电极开路与非门，它的逻辑功能就是与逻辑。TSL 门就是三态门电路，它除了输出高电平和低电平外，还有一态是高阻态，此时输出端对地之间相当于开路。

题11 STTL 门就是抗饱和 TTL 门电路，或称为肖特基钳位 TTL 门电路。带有肖特基势垒二极管钳位的晶体管在饱和时其饱和度不深，这是因为存在着肖特基势垒二极管有分流作用。ECL 门就是射极耦合逻辑门电路，又称为电流开关型电路，即 CML 逻辑门电路。I<sup>2</sup>L 门就是集成注入逻辑门电路。





**题12** CMOS传输门就是用CMOS电路构成的传输门,传输门是一种可控开关电路,它接近于一个理想的电子开关,它在开关接通时的电阻很小,而在开关断开时的电阻很大。

## 2. 参考答案

**题1** 对。

**题2** 对。

**题3** 错。对于或门电路而言,只要输入端有一个为高电平,该门就输出1。输入端中只有一个输入低电平时,该门仍然输出高电平1。

**题4** 错。当5个输入端都输入低电平0时,这一与门电路也是输出低电平0。

**题5** 错。与门和或门电路可以有多个输入端,但只有一个输出端。

**题6** 对。

**题7** 对。

**题8** 对。

**题9** 错。两个输入端都是1或都是0时,输出端都是输出0。

**题10** 对。

**题11** 对。

**题12** 对。

## ★四、组合逻辑电路自测题及参考答案

**1. 是非判断题** (在对的题号上画个圈,错的题号上打个差,并进行更正)。

**题1** 组合逻辑电路简称组合电路,这种电路的特点是:电路中的某一输出端在某一时刻的输出状态仅由该时刻的电路输入端状态决定,与电路原状态无关。组合逻辑电路不具有记忆功能。组合逻辑电路包括:一是基本运算器电路。二是比较器电路。三是判奇偶电路。四是数据选择器。五是编码器电路。六是译码器电路。七是显示器电路。

**题2** 半加器电路可完成两个一位二进数的求和运算,半加器是一个由加数、被加数、和数、向高位进位数组成的运算器,它仅考虑本位数相加,不考虑低位来的进位。全加器比半加器电路都一个输入端,共有三个输入端。全加器仍然是一个1比特加法器电路,与半加器相比只是多了一个低位进位数端。

**题3** 比较器有两种电路:一是大小比较器,二是同比较器。大小比较器电路有三个输出端,一个是 $A=B$ 输出端,二是 $A>B$ 输出端,三是 $A<B$ 输出端。对于多位比较器,在进行比较时,从最高位向下一位一位地比较,当比较到哪一位有结果时便有输出信号,若比完最后一位仍然是相等的话,就是 $A=B$ 输出端输出高电平1。

**题4** 判奇、判偶电路的输入端有多个,具体输入端数量视具体电路而定,但是这种电路的输出端只有一个。判奇电路的输出端状态是这样:当输出端为1时,说明输入信号中高电平1的数目为奇数。对于判偶电路而言,当输出端为0时,说明输入信号中高电平1的数目为偶数。

**题5** 数据选择器又称为多路选择器或多路开关电路,这种电路就相当于一个单刀单掷选择开关电路,当有控制信号时,该选择器处于接通状态,传输数据,相当于开关的接通状态。当没有控制信号时,该选择器处于断开状态,此时不能传输数据。

**题6** 数据分配器与数据选择器的功能相反,它能将一个数据分配到许多道道电路中。

**题7** 在二—十进制编码中,可以用三位的二进制数码来表示十进制数中的0~9,这样的编码过程称为二—十进制编码。在8421 BCD码中,十进制数中的5的码为0101,7是0111码。

**题8** 没有键控输入电路对按键操作信号的编码,数字系统电路将无法识别各种按键的操作控制。数字系统电路中常用的键控输入电路主要有非编码键盘和编码键盘两种电路。数字式家用电器的键控操作有本机和遥控操作两种,它们都存在着键控输入电路,其基本工作原理是相同的。

**题9** 从广义角度上讲译码器的功能是将一种编码转换到另一种编码的电路,译码是编码的 reverse 过程。二—十进制译码器电路所输出的控制信号仍然是一组高、低电平组合信号,只是十进制数中

的控制信号，这一组控制信号通过显示驱动电路和显示器件才能显示出十进制数中的数字。

**题 10** 数字式显示电路主要由译码器、驱动器电路和显示器三部分组成。译码器电路要将二进制数码转换成数码管能够接收的控制信号，驱动电路的作用是加大这一控制信号，显示器显示十进制数字或其他字符。

**题 11** 数码管主要有三大类：一是字形重叠式数码管，二是分段式数码管，三是点矩阵式数码显示器件。分段式数码管将一个数字分成若干个笔划，通过驱动相应的笔划发光来显示某一个数字，荧光数码管就是这种类型的数码管。分段式数码管有八段式和七段式两种，在数字显示方面分段式数码管是主要显示器件。

**题 12** 发光二极管数码管可以用晶体管构成驱动电路，也可以用 TTL 门构成驱动电路。荧光数码管可以用 HTL 集成门直接驱动。液晶显示器由于驱动电流很小，所以可用译码器输出信号直接驱动。

**题 13** 各显示器电路中的译码器功能是相同的，但电路工作原理是不同的，分段式数码管的译码器电路最为复杂。对于分段式数码管的译码器电路而言，只要分段的数目相同（如七段或八段数码管），那么译码器电路是相同的。

**题 14** 液晶是一种有机化合物，液晶在一定的温度范围内具有液体的流动性，又有晶体的某些光学特性，液晶的透明度和颜色随电场、光、磁场和温度等外界条件变化而变化。液晶在电场作用下会出现电光效应，利用这一效应可制成显示器。

**题 15** 数字式显示器在各种数字式家用电器中有着广泛的应用，如 VCD 播放机中的多功能显示器，在实用电路中都是一个多位数字显示器，同时也能显示各种字母和符号。

## 2. 参考答案

**题 1** 对。

**题 2** 对。

**题 3** 对。

**题 4** 错。当判偶电路输出端为 0 时，说明输入信号中高电平 1 的数目不是为偶数。

**题 5** 数据选择器电路相当于一个单刀数掷选择开关电路。

**题 6** 对。

**题 7** 错。在二—十进制编码中，表示十进制数中的 0~9 必须要用四位的二进制码，三位是不够的。

**题 8** 对。

**题 9** 对。

**题 10** 对。

**题 11** 对。

**题 12** 对。

**题 13** 对。

**题 14** 对。

**题 15** 对。

## ★五、时序电路自测题及参考答案

**1. 是非判断题**（在对的题号上画个圈，错的题号上打个差，并进行更正）

**题 1** 所谓时序电路就是在组合逻辑电路的基础上再加输出端与输入端之间的反馈回路，并在反馈回路中设有存储单元电路而构成的电路。时序电路特点是在任意时刻的输出信号不仅取决于该时刻输入信号状态，而且还决定于电路的原来状态。一般情况下时序电路中的存储单元由如 RS 触发器或 JK 触发器、D 触发器构成。时序电路主要有寄存器电路、计数器电路等。

**题 2** 时序电路有两大类电路：一是异步时序电路，所谓异步时序电路中存储电路的各触发器没有统一时钟脉冲，或者没有时钟脉冲控制，因此各触发器状态翻转变化的不是发生在同一的时刻。



二是同步时序电路,在同步时序电路中存储电路的各触发器都受同一时钟脉冲 CP 的触发控制,因此所有触发器的状态变化都在同一时刻发生,如在时钟脉冲的 CP 作用下在 CP 脉冲的上升沿或下降沿发生翻转。

**题3** 寄存器由触发器组成,一个触发器能存放一位二进制数码,如果需要存放几位数码就要使用几个触发器。寄存器主要有两大类:一是数码寄存器,移位寄存器。两种寄存器的不同之处就是后者能够对存放的数码进行左移或右移,但一个移位寄存器不能做到又能左移又能右移。

**题4** 寄存器中的数码输入方式有两种:一是串行输入方式,其缺点是输入速度较慢。二是并行输入方式,它的输入速度较快。寄存器中的数码输出方式也是有两种:一是串行输出方式,二是并行输出方式。寄存器是在移位脉冲 CP 作用下接收输入数码的,并且只在 CP 从高电平变为低电平的下降沿接收输入数码。

**题5** D 触发器也可以构成寄存器电路,分析这种电路是注意 D 触发器时的逻辑功能。当输入端 D 为 0 时,再加一个移位正脉冲, D 触发器输出端  $Q=0$ 。如果输入端  $D=1$ ,在移位正脉冲作用下输出 1,即  $Q=1$ 。这种触发器必须有移位正脉冲的作用。

**题6** 两拍式数码寄存器每次接收数码都要分成两步来完成,而单拍式数码寄存器只需要在寄存指令到来时一次性接收输入数码。一位寄存器只能寄存一位二进制数码,如果要寄存四位的二进制数码就使用四位的数码寄存器电路。

**题7** 对于串行输入的寄存器电路,如果要输入一个 8 位的数码,必须通过 8 个 CP 脉冲的作用才将 8 位数码输入,因为这种输入方式只有一个一个地输入数码。并行输入方式就不同,需要输入 8 位数码时,只要一次 CP 脉冲触发就能同时将 8 个输入数码同时输入到寄存器中。

**题8** 计数器是数字系统电路中应用最为广泛的基本部件,因为数字系统电路中许多电路中需要具有脉冲计数功能的电路,计数器就是能够对输入脉冲进行加法计数或减法计数。计数器除进行脉冲计数运用外,没有其他作用。

**题9** 计数器种类很多,按照脉冲输入方式分有串行计数器和并行计数器。在二进制加法计数器电路,它必须遵循“逢二进一”的原则。在二—十进制计数器中并不是直接使用了 0~9 数码,而是用 8421 BCD 码来表示 0~9,只是这种十进制计数器中的进位原则是“逢十进一”。

**题10** 所谓异步计数器就是计数脉冲是从最低位触发器的输入端输入,其他各级触发器则是由它相邻且低一位的触发器来触发,在异步计数器中的各触发器没有同一的计数脉冲触发。所谓同步计数器就是计数器中的各触发器都由同一的计数脉冲或时钟脉冲触发,计数器中的各触发器输出状态改变与唯一的脉冲源同步。

**题11** 在同步计数器中,根据进位信号触发方式不同有串行进位同步计数器和并行进位同步计数器两种电路。串行计数器的优点是无论有多少位,只要用一种两个输入端的与门就能传输进位控制信号了。并行计数器的优点是计数速度比较快。

**题12** 8421 BCD 码同步十进制加法计数器电路,当输入的计数脉冲达到第 10 个时,加法计数器回 0,同时给出一个进位信号。当第 11 个计数脉冲出现时,进位信号消失,同时加法计数器输出数码为 0001。

**题13** 在五进制计数器电路中要用五个触发器才行,在三进制计数器电路中要用三个触发器。

**题14** 利用计数器电路可以对输入脉冲信号进行分频。所谓分频就是降低输入脉冲信号的频率,例如输入脉冲信号的频率是 10MHz,当对其进行五分频后的频率就是 5MHz。

**题15** 减法计数器在进行减法计数时,若本位出现 0-1 就得向最一位借 1,此时本位输出是 1。若出现 1-1 就不必向高位借 1,也就没有借 1 信号输出,此时本位输出 0。

## 2. 参考答案

**题1** 对。

**题2** 对。

**题3** 错。双向移位寄存器在控制信号的作用下可以左移,也可以右移。

**题 4** 错。寄存器只在移位脉冲 CP 从低电平变为高电平上升沿接收输入数码。

**题 5** 对。

**题 6** 对。

**题 7** 对。

**题 8** 错。计数器的基本功能是脉冲计数，它还可以进行数字运算，还可以用作分频器、定时及程序控制等。

**题 9** 对。

**题 10** 对。

**题 11** 对。

**题 12** 对。

**题 13** 错。在五进制计数器电路中只要用三个触发器才行，在三进制计数器电路中只要用二个触发器。

**题 14** 错。对 10MHz 信号进行五分频后的信号频率是 2MHz。

**题 15** 对。

阅读完成时间：\_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日，用时\_\_\_\_天。

签 名：\_\_\_\_\_

阅读体会：（请写 10 个收获最大的知识点关键词）

阅读困惑：（请写 10 个最难理解的知识点关键词）





辅导平台二维码



公众微信号二维码



地址:北京市百万庄大街22号

邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网: <http://www.cmpedu.com>

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

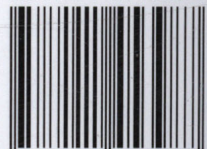
封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术 / 电子技术

ISBN 978-7-111-45398-7

策划编辑◎张俊红 / 封面设计◎马精明

ISBN 978-7-111-45398-7



9 787111 453987 >

定价: 99.00元